

OPTIMITZACIÓ D'UN DISPOSITIU DE COMPACTACIÓ DE POLS METÀL·LICA EN CALENT

Iu Morales Torné

Projecte Final de Carrera

Enginyeria Superior de Materials

Curs: 2007/2008

 **UAB**
Universitat Autònoma de Barcelona

AGRAÏMENTS:

A tota la gent del Grup de Física de Materials II per l'ajut rebut durant l'elaboració d'aquest projecte, en especial l'Amadeu, l'Enric, el Jordi, en German, la Jordina, l'Albert i en Sebastiano, i també en Pau. A la Dolors i en Santi per proposar-me a realitzar-lo, i en Carlos Carbonell en facilitar-me els arxius del seu projecte. A en Manel del Servei Tècnic i en Javier Rodriguez.

A en Jesús Peñafiel d'AMES, en Josep Climent d'UDDEHOLM, en Joan Farrés de FERRO-MECÀNICA S.A., i al Paul Bartholomeus de CE MASTERS S.A. per aclarir-me certs aspectes de disseny.

A tota la gent del meu entorn més proper, amics i amigues, familiars i companys de feina, que m'ha recolzat en els bons i mals moments viscuts, i en els petits entrebancs tècnics durant la realització d'aquest projecte. En especial a la Maggie i a la Laia per fer-me somriure sempre que us vec.

Gràcies a tots!!

ÍNDEX.

1.- INTRODUCCIÓ.	4
2.- OBJECTIUS.	7
3.- DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA.	8
3.1.- Dispositiu de compactació.	8
3.2.- Màquina d'assaigs mecànics MTS 858.	19
3.3.- Components secundaris.	41
4.- METODOLOGIA DE L'ASSAIG.	45
4.1.- Procés de preparació del sistema.	45
4.2.- Mètode d'assaig.	46
4.3.- Procés d'extracció de la mostra del dispositiu.	60
4.4.- Manteniment del dispositiu.	61
5.- PARÀMETRES I RESTRICCIONS.	65
6.- SELECCIÓ DE POLS METÀL·LICA.	68
6.1.- Zinc.	70
6.2.- Alumini.	71
6.3.- Coure.	72
7.- MÈTODE EXPERIMENTAL.	73
7.1.- Càlcul de masses dels aliatges.	73
7.2.- Paràmetres dels assaigs.	79
8.- RESULTATS.	81
8.1.- Temperatura mordasses.	81
8.2.- Preparació de mostres.	84
8.3.- Percentatge de compactació.	85
8.4.- Difracció de raigs X (XRD).	86
8.5.- Atacs químics.	90
8.6.- SEM (Scanning Electron Microscopy).	90
8.7.- Microscopi òptic.	98
8.8.- Comparació grandària de pols i de partícula.	101
8.9.- Microduresa.	102
9.- CONCLUSIONS.	104
10.- PRESSUPOST.	106
11.- REFERÈNCIES.	107
12.- ÍNDEX ANNEXOS.	108

1.- INTRODUCCIÓ.

El projecte tracta de l'optimització d'un dispositiu de compactació de pols metàl·lica en calent que s'acobla a la màquina d'assaigs mecànics MTS (*Material Testing Systems*) model 858 i al forn integrat a aquesta. El dispositiu o utillatge (figura 1.1) té la funció de compactar la pols metàl·lica amb la força axial de compressió de la MTS, mentre que alhora s'aplica calor del forn integrat. El resultat d'aquest procediment és l'obtenció de mostres compactades i densificades.



Figura 1.1.- Dispositiu de compactació de pols metàl·lica en calent

Projecte proposat pel Grup de Física de Materials II de la UAB, amb la finalitat de continuar i portar a terme el dispositiu de compactació prèviament dissenyat. Els dissenys del dispositiu s'atribueixen a Carlos Carbonell Fernández, ja que va ser el seu projecte final de carrera d'enginyeria Superior de Materials, dirigit per en Santiago Suriñach.

El projecte explica des de la revisió dels dissenys inicials, la fabricació dels components del dispositiu, descripció del utillatge i de la màquina d'assaig, establir una metodologia d'assaigs amb les seves condicions d'ús, fins la realització dels experiments i l'avaluació de les mostres per tal d'establir conclusions per l'optimització.

El tipus de processat que exerceix el dispositiu s'anomena premsat en calent i es troba dins dels processos de la pulvimetal·lúrgia.

El procés pulvimetal·lúrgic engloba als processos d'obtenció de pols i la seva consolidació per aplicació de pressió i calor a una temperatura inferior a la de fusió del principal constituent.

La metal·lúrgia de pols és una forma pràctica per refinar i fabricar peces d'aquests metalls. Es poden crear peces geomètricament complicades gràcies a aquest procés, i també és l'únic mètode factible de consolidar i formar els materials separats per eines, com els carburs cementats i els òxids sinteritzats. Les combinacions dels metalls i no metalls que són difícil d'obtenir de forma econòmica, per aliatge són possibles gràcies al procés de la pulvimetal·lúrgia. En la figura 1.2 es mostra un procés pulvimetal·lúrgic.

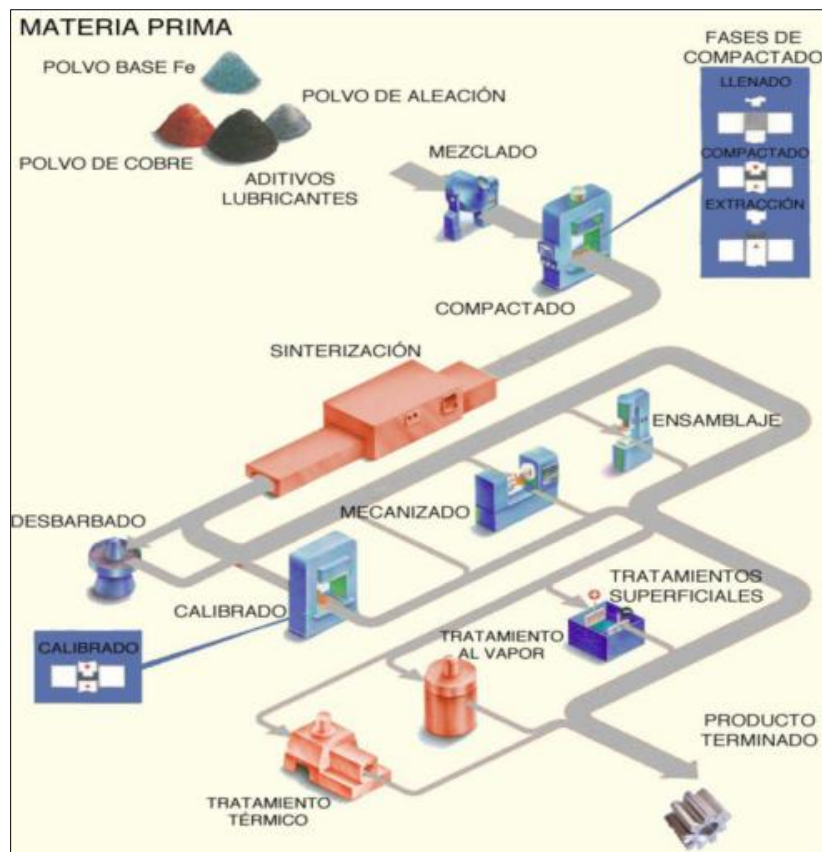


Figura 1.2. Procés pulvimetal·lúrgic.

Un dels aspectes important en els processos pulvimetal·lúrgics, és la compactació. L'efecte de la pressió a la pols metàl·lica és comprimir les partícules per col·locar-les al seu lloc, iniciar enllaços interatòmics i incrementar la densitat del mateix. Teòricament, s'arribarà al 100% de la densitat i resistència del metall pare, si la pols es comprimeix el suficient i és sinteritzada.

La majoria de les peces es comprimeix en fred, però a vegades pot comprimir-se o forjar-se subseqüentment. El premsat en calent (Hot Pressing) produeix una major exactitud. La forma de la partícula adequada, la grandària, la distribució de la grandària, la selecció correcta i la mescla són necessaris per obtenir una part comprimida satisfactòria. Els millors lligams s'obtenen entre partícules abruptes, però les partícules rodones flueixen millor al motlle i sota pressió. La forma amb que la pols emplena la matriu determina la velocitat d'operació.

La pols metàl·lica es comprimeix dins una cavitat per que agafi la forma de la peça mitjançant un o més punxons (figura 1.3). La qualitat depèn de la uniformitat de la compactació del material. La pols metàl·lica no flueix amb facilitat fins als racons i cantonades com els fluids. La fricció és alta entre partícules i les parets dels utilatges. Per tant, un sol punxó no pot compactar amb una densitat uniforme qualsevol peça, només les més simples. Les parts que tenen esglaons, parets primes, etc, s'han de comprimir amb dos o més punxons per distribuir uniformement la pressió a través de les seccions.

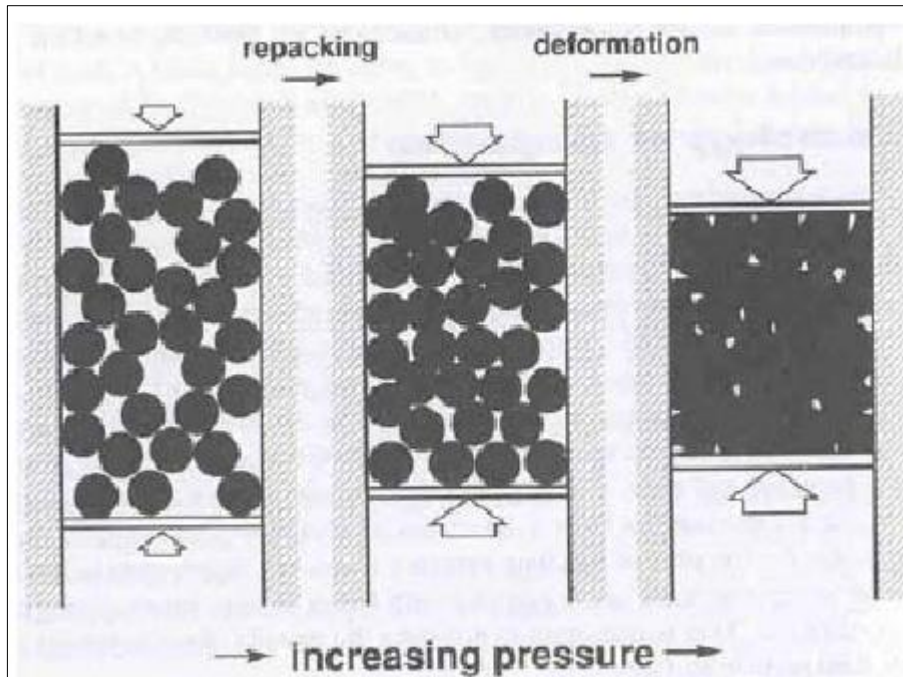


Figura 1.3. Compactació de pols metàl·lica.

Compactada la pols metàl·lica (peça en verd), el següent fase és la densificació de la part mitjançant la sinterització. La sinterització consisteix amb el tractament tèrmic de la peça en verd durant el temps d'operació i la temperatura de sinterització, habitualment inferior a la de fusió de les seves partícules.

Per mitjà de la sinterització, la peça en verd es transforma amb una peça amb la resistència necessària per ser aplicada amb fins industrials, el que s'aconsegueix per la consolidació i extensió de les unions cohesives intersuperficials entre les partícules metàl·liques.

El forn ha de permetre la incorporació d'atmosferes controlades, que aporten neutralitat química, com és el cas del buit o de gasos nobles (heli, argó, nitrogen) o bé introdueixen elements que permeten certes transformacions per reaccions químiques.

La compactació de pols metàl·lica a densitat total, es pot produir per premsat en calent (Hot Pressing), on la calor i la compressió s'apliquen simultàniament, enlloc d'aplicar-los seqüencialment, com a la compactació convencional. La pressió s'aplica estàtica o dinàmicament a la pols calenta a una o dos direccions oposades al llarg d'un eix simple o varis eixos. Es requereix una atmosfera controlada per protegir la pols calenta de l'oxidació per l'aire.

La tècnica de premsat en calent es coneguda, principalment pel desenvolupament de carburs cementats, i pels materials coneguts com cermets (ceramic metal).

2.- OBJECTIUS.

L'objectiu del projecte és l'optimització del dispositiu, és a dir, a partir de la descripció funcional i morfològica del sistema (dispositiu i MTS), s'obté uns paràmetres i unes restriccions per tal de garantir la metodologia d'assaig pels experiments, i alhora determinar la pols metàl·lica adient per realitzar els assaigs. Amb les conclusions dels resultats dels experiments es podrà determinar si els valors dels paràmetres establerts són òptims pel dispositiu i per l'assaig.



3.- DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA.

Es defineix com a sistema al conjunt format per la màquina d'assaigs MTS 858 i pel dispositiu de compactació de pols metàl·lica. Aquests dos aparells són les eines clau en el projecte, i per tal d'obtenir una correcta optimització és essencial conèixer degudament aquests aparells, així com la seva funcionalitat.

En el sistema també intervenen elements o components secundaris que tenen la funció de complementar l'optimització, com a sistema de seguretat i com a protecció d'altres parts del sistema.

A continuació es descriu detalladament el dispositiu de compactació (apartat 3.1), i la màquina d'assaigs MTS (apartat 3.2), així com les seves peces i/o components de cadascun dels aparells del sistema. També es descriurà els components secundaris del sistema (apartat 3.3).

3.1.- Dispositiu de compactació.

El dispositiu de compactació ha estat dissenyat i creat per compactar pols metàl·lica en calent. Aquesta compactació s'exerceix amb l'ajut de la força axial de compressió de la MTS i la calor s'obté del forn, per tant el dispositiu ha estat dissenyat per tal que s'acobli a la màquina d'assaigs i al seu forn.

Com es mostra en la figura 3.1, el dispositiu està format per 5 peces:

- una matriu,
- un punxó superior,
- un punxó inferior i,
- dos punxons extractors.

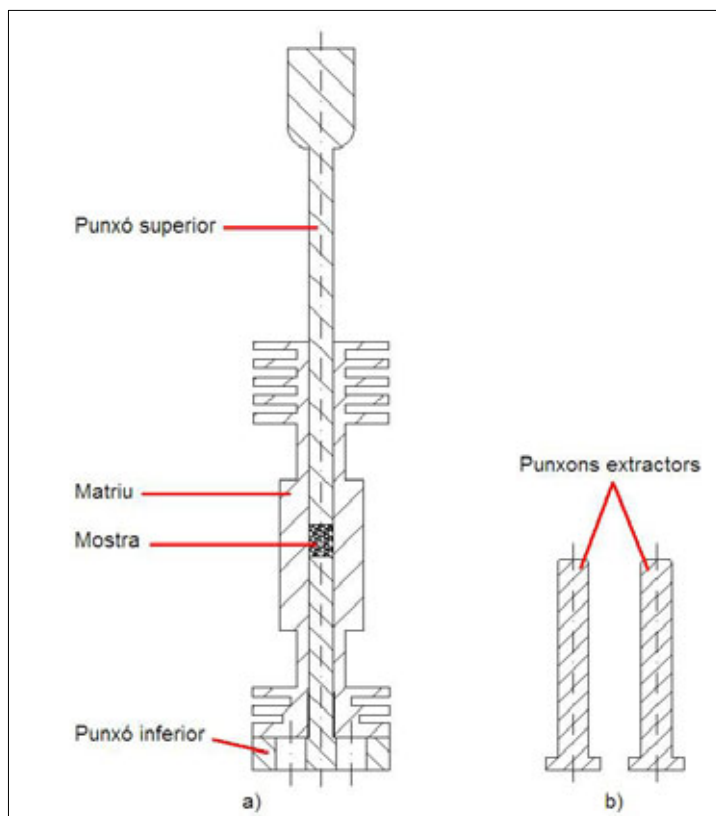


Figura 3.1. Conjunt dispositiu de compactació.

Les tres primeres peces del utilatge són imprescindibles alhora de dur el procés de compactació de la pols. El muntatge es pot observar en el dibuix a) de la figura 3.1 i als plànols 5 i 6 de l'annex A, però es farà una explicació més extensa en l'apartat 4.2. Els punxons extractors (dibuix b) de la figura 3.1) s'afegeixen al dispositiu muntat (dibuix a) de la figura 3.1) per tal de realitzar l'extracció de la mosta compactada, on s'explicarà més detalladament a l'apartat 4.3.

El disseny d'aquest dispositiu es deu a l'exalumne Carlos Carbonell Fernández, que el realitzà com a projecte final de carrera d'enginyeria Superior de Materials. Certes peces del dispositiu han sofert modificacions del disseny inicial, ja que algunes dimensions han estat retocades per tal d'obtenir un correcte acoblament al forn i unes altres en el fet del processat mecànic del dispositiu.

En els apartats 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 i 3.1.4, es realitzarà una descripció de la funcionalitat i la morfologia de les peces que componen el dispositiu, com també les modificacions sofertes del disseny inicial. En els apartats 3.1.5, 3.1.6 i 3.1.7 s'explicarà el material utilitzat, el mètode de fabricació i les toleràncies de les peces del dispositiu, respectivament. El muntatge del dispositiu es comentarà en l'apartat 4.2.

El funcionament del dispositiu es pot apreciar a la figura 3.2, on el dibuix a) és l'acoblament del punxó inferior i la matriu, i la introducció de la pols dins el dispositiu; el dibuix b) és la introducció del punxó superior; i el dibuix c) correspon a la compactació en calent.

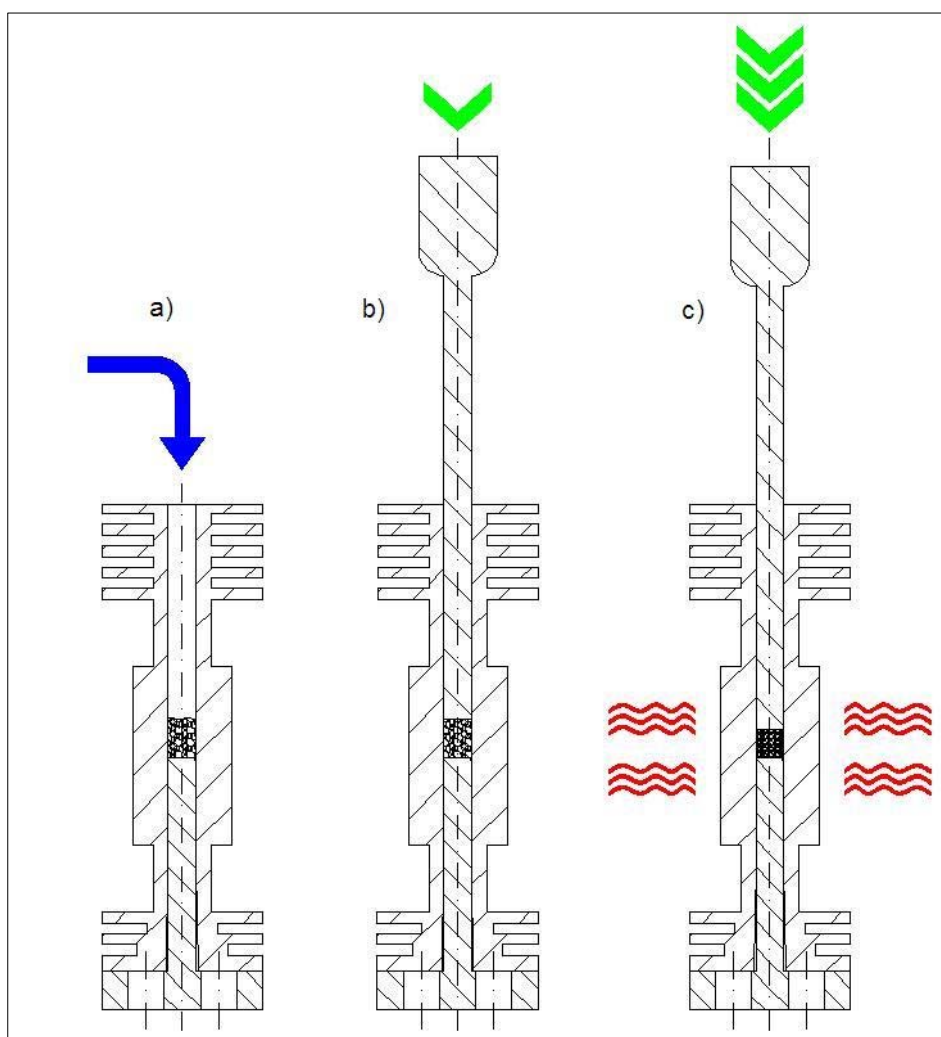


Figura 3.2. Funcionament del dispositiu.

3.1.1.- Matriu.

La matriu és la peça central del dispositiu on al centre d'aquesta es diposita la pols metàl·lica que s'ha de comprimir i densificar. Tal com es mostra la figura 3.3, es poden distingir 3 zones d'aquesta peça,:

- la A és la zona dels dissipadors superiors de calor,
- la B és la zona central i,
- la C és la zona dels dissipadors inferiors de calor.

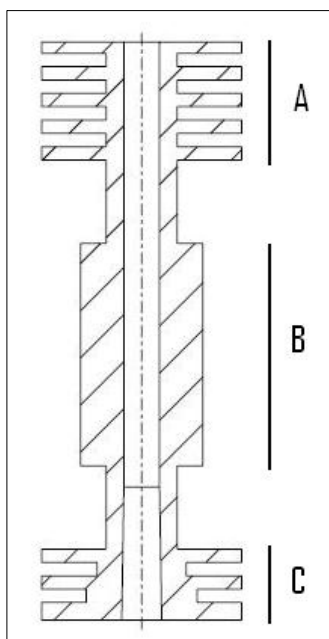


Figura 3.3. Matriu.

Les zones A i C són les corresponents als dissipadors de calor que tenen la funció de dissipar la calor produït pel forn. La base de la zona C es recolza sobre el punxó inferior. En aquesta zona C s'observa un augment del diàmetre interior i de l'exterior cap a l'extrem inferior del dispositiu. Aquest augment de diàmetre interior és per poder extreure amb més facilitat la mostra compactada, mentre que l'augment del diàmetre exterior és perquè la matriu pugui suportar la compressió exercida. La zona B correspon al centre de la matriu on es produeix la compactació i densificació de la pols. L'augment del diàmetre exterior d'aquesta zona central es deu a que el dispositiu pugui suportar les pressions de la compressió. Aquesta zona és la que s'introdueix dins el forn, on s'ajusta perfectament.

Les dimensions generals de la matriu són de 130 mm d'altura total, el diàmetre màxim exterior de 45 mm i el diàmetre del forat de la matriu és de 8 mm. Al plànol número 1 de l'annex A, es poden veure detalladament les dimensions de la matriu.

La matriu ha sofert unes lleugeres modificacions per tal que es pugui acoblar correctament al forn de la MTS. En els dissenys inicials, la zona B, es trobava desplaçada cap al dissipador inferior, cosa que impossibilitava introduir aquesta part central dins el forn. La modificació que ha sofert aquesta zona és que s'ha desplaçat uns 4.75 mm la part central cap al dissipador superior fins que les distàncies entre els dissipadors i la zona central han estat iguals. Amb aquesta modificació la part central de la matriu s'acobla perfectament al forn. Aquesta modificació implica que els components del dispositiu que formin part del procés de compressió, hagin sofert també modificacions. Una altra modificació és el canvi de diàmetre del forat de la matriu. Inicialment era de 7 mm però

per motius de mecanitzat de la peça, ja que no hi ha cap eina que pugui fer un forat d'aquestes dimensions, s'ha canviat la mida a 8 mm de diàmetre.

3.1.2.- Punxó superior.

El punxó superior té la funció de pistó de comprimir la pols. L'eix d'aquesta peça s'introdueix per la part superior de la matriu i, alhora és subjectada per la mordassa superior de la MTS (veure apartat 3.2.2). Aquest mètode de subjectació fixa la peça amb la màquina d'assajos mecànics. Aquesta peça és la única que és mòbil ja que les altres són estàtiques durant l'assaig. Com es pot apreciar en la figura 3.4, el punxó consta de dues zones o parts.

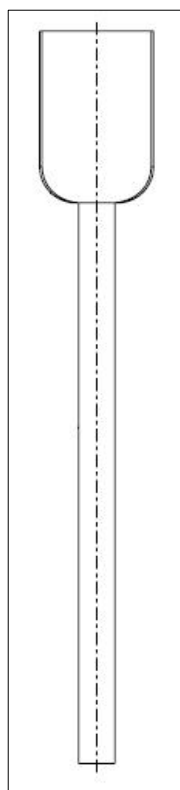


Figura 3.4. Punxó superior.

La part superior és per on es subjecta la peça amb la mordassa superior de la MTS, i la part inferior, l'eix del punxó superior, és la que s'introdueix dins la matriu per realitzar la seva funció de pistó de compressió.

L'altura total del punxó superior és de 162 mm i el diàmetre de l'eix és de 8 mm. Al plànol número 2 de l'annex A, es poden veure detalladament les dimensions d'aquesta peça.

Aquesta peça ha sofert unes modificacions respecte el disseny original. Com s'ha comentat en l'apartat 3.1.1, el desplaçament de 4,75 mm de la zona central de la matriu ha afectat a l'altura total del punxó superior, que abans corresponia a 166,75 mm. La modificació del diàmetre del forat de la matriu afecta al diàmetre de la part inferior del punxó, per tant, els 7 mm del diàmetre inicial passen a 8 mm. La última modificació d'aquesta peça és la seva part superior (la part subjectada per la mordassa de la MTS). Aquesta modificació es deguda a l'observació de la galga de compressió (veure apartat 3.2.2). El component d'aquesta galga (figura 3.5) que es fixa a la mordassa inferior de la

MTS, té unes dimensions diferents al disseny inicial de la part superior del punxó. Per tant s'han agafat les dimensions d'aquest component normalitzat i s'han aplicat al disseny actual (altura, gruix i amplada).



Figura 3.5. Component de la galga de compressió.

3.1.3.- Punxó inferior.

El punxó inferior té la funció de pistó fix en la compressió de la pols. L'eix d'aquest component s'introdueix per la part inferior de la matriu, mentre que la seva base es recolza sobre dues plaques de protecció (veure apartat 3.3) i aquestes sobre la galga de compressió de la MTS. En la figura 3.6, es pot observar la morfologia del component.

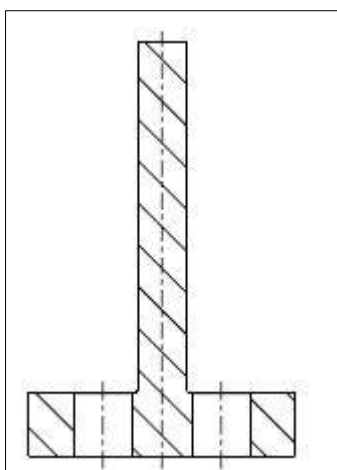


Figura 3.6. Punxó inferior.

La part superior del punxó, l'eix del punxó inferior, s'introdueix per la part inferior de la matriu. Quan el dispositiu de compactació està muntat (veure apartat 4.2), la pols metàl·lica quedarà dipositada sobre la superfície plana del punxó inferior, per tant la càrrega de compressió s'efectuarà sobre dit component. La part inferior del punxó és la base que reparteix la càrrega i alhora sosté la matriu. Els 2 forats d'aquesta base guien als 2 punxons extractors possibilitant l'extracció de les mostres compactades (veure apartat 4.3).

L'altura total de la peça és de 70,25 mm, el diàmetre de la base és de 45 mm i el diàmetre de l'eix de la part superior és 8 mm. El diàmetre dels dos forats de la base són de 10 mm. Al plànol número 3 de l'annex A, es poden veure detalladament les dimensions d'aquesta peça.

Com a conseqüència de la modificació de la matriu, ja esmentada en l'apartat 3.1.1, aquest component també s'ha vist afectat. L'altura total del disseny inicial era de 65,5 mm, per culpa de la modificació ara és 4,75 mm més alta. El diàmetre original de la part superior de la peça era de 7 mm, que s'ha modificat a 8 mm de diàmetre.

3.1.4.- Punxons extractors.

El dispositiu disposa de 2 punxons extractors. Durant l'extracció de la mostra, els punxons tenen la funció de subjectar la matriu fixa mentre que el punxó inferior és desplaçat i guiat a través dels 2 forats de la base d'aquesta última peça. El procés d'extracció de les mostres compactades s'explica amb més detall a l'apartat 4.3. En la figura 3.7 es pot apreciar el punxó extractor.

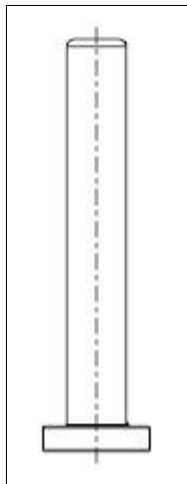


Figura 3.7. Punxó extractor.

La part inferior de la peça és la base la qual es recolza sobre una superfície plana. La part superior, l'eix del punxó extractor, s'introdueix dins els forats de la base del punxó inferior. L'extrem superior de la peça té un arrodoniment per tal de facilitar la introducció del punxó en el forat del punxó inferior.

L'altura total de la peça és de 69,75 mm i el diàmetre de l'eix de la part superior del punxó extractor és de 10 mm. Al plànol número 4 de l'annex A, es poden veure detalladament les dimensions d'aquesta peça.

Aquesta peça no ha sofert cap modificació.

3.1.5.- Material del dispositiu.

En el disseny inicial del dispositiu es va seleccionar el material apropiat per aquest tipus de processat, per tant s'ha mantingut dita selecció per la fabricació del dispositiu. El material utilitzat en la fabricació de totes les peces del dispositiu és l'acer al carboni de nom comercial VANADIS[®] EXTRA 4. Aquest acer és comercialitzat per UDDEHOLM, empresa sueca especialitzada amb una gran quantitat d'acers.

A l'annex B, es pot trobar tota la informació de l'acer VANADIS[®] EXTRA 4, des de les propietats físiques, informació general, aplicacions fins a recomanacions de mecanitzat i de tractaments tèrmics que es poden aplicar. Tot i així es comentaran en aquest apartat els trets i característiques més importants d'aquest acer.

En la taula 3.8 mostra la informació general de l'acer seleccionat, mentre la taula 3.9 mostra les seves propietats físiques (propietats quan el material ha estat temprat i revingut fins obtenir una duresa de 60 HRC).

Análisis típico %	C 1,4	Si 0,4	Mn 0,4	Cr 4,7	Mo 3,5	V 3,7
Estado de suministro	Recocido blando a aprox. 230 HB					
Código de color	Verde/Blanco con línea negro transversal					

Taula 3.8. Informació general de VANADIS® EXTRA 4.

Temperatura	20°C	200°C	400°C
Densidad kg/m³	7 700	–	–
Módulo de elasticidad N/mm²	206 000	200 000	185 000
Coeficiente de expansión térmica por °C a partir de 20°C	–	10,9 x 10 ⁻⁶	11,7 x 10 ⁻⁶
Conductividad térmica W/m • °C	–	30	30
Calor específico J/kg °C	460	–	–

Taula 3.9. Propietats físiques de VANADIS® EXTRA 4.

El VANADIS® EXTRA 4 es caracteritza per:

- molt bona ductilitat,
- alta resistència al desgast abrasió - adhesió,
- bona estabilitat dimensional durant el tractament tèrmic i en servei,
- bones propietats de tremp,
- molt bona resistència contra la pèrdua de duresa durant el treball, i
- bona aptitud de mecanitzat i rectificat.

Totes aquestes característiques fan que el VANADIS® EXTRA 4 sigui el material més apropiat per la fabricació del dispositiu. També és un acer adequat per l'aplicació que exerceix el dispositiu, ja que l'acer té una alta resistència al desgast abrasió - adhesió amb materials de treball tous i adherents.

En l'annex C es pot observar l'albarà corresponent a la comanda que es va realitzar a UDDEHOLM. Es va demanar els següents 5 cilindres de VANADIS® EXTRA 4:

- 1 cilindre amb dimensions de 46 mm de diàmetre i 80 mm de llargada,
- 1 cilindre de 46 mm de diàmetre i 133 mm de llargada,
- 1 cilindre de 28 mm de diàmetre i 162 mm de llargada, i

- 2 cilindres de 23,5 mm de diàmetre i 80 mm de llargada.

3.1.6.- Mecanització i tractaments tèrmics del dispositiu.

La mecanització del dispositiu la portà a terme FERRO-MECÀNICA S.A., empresa especialitzada en el mecanitzat i fabricació d'utillatges metàl·lics. A partir dels plànols finals que se'ls ha facilitat, han realitzat la mecanització de les 5 peces que componen el dispositiu. FERRO-MECÀNICA S.A. també s'encarrega de portar les peces mecanitzades a l'empresa MATALOGRÀFICA S.A. per realitzar els tractaments tèrmics convenients.

L'empresa distribuïdora UDDEHOLM, subministra els seus acers per a utillatges amb estat de recuit tou, ja que d'aquest mode el material és més fàcil de mecanitzar i a més, donar-li una microestructura adequada després dels tractaments tèrmics. La mecanització dels cilindres d'acer VANADIS® EXTRA 4 passa per diferents màquines de processat, primer pel torn, després per la fresadora i finalment per la rectificadora. Abans del rectificat final de les peces, totes aquestes se'ls ha aplicat varis tractaments tèrmics per tal d'obtenir una alta resistència superficial i l'òptima microestructura de l'acer. El primer tractament tèrmic aplicat, ha estat una cementació. Aquest tractament tèrmic és un tractament superficial que consisteix en escalfar la peça a altes temperatures en una atmosfera de carboni durant bastant temps. Amb aquest tractament s'obté més resistència al desgast, ja que hi hagut un augment de carboni a la superfície de la peça. El següent tractament és un tremp i finalment un revingut. Després dels tractaments tèrmics s'obté peces amb gran tenacitat, una duresa final de 62 HRC (duresa Rockwels tipus C) i alta resistència superficial.

En l'annex B es pot observar les recomanacions marcades per UDDEHOLM alhora de mecanitzar i tractar tèrmicament els seus productes. A continuació es comentarà la mecanització de cada una de les peces del dispositiu.

La matriu del dispositiu ha estat mecanitzada a partir del cilindre d'acer de dimensions de 46 mm de diàmetre i 133 mm de llargada. Primer se li ha realitzat un tornejat per fer els dissipadors i el diferents diàmetres que component aquesta peça. El forat de l'eix axial també s'ha realitzat amb el torn. Després se li ha fet els 3 tractaments tèrmics comentats posteriorment. I finalment se li ha realitzat un rectificat per obtenir un acabat òptim i les dimensions desitjades de la peça. Les toleràncies i les superfícies rectificades es comentaran en l'apartat 3.1.8, i també es poden observar als plànols de l'annex A. En la figura 3.10 es pot observar la matriu acabada de mecanitzar.



Figura 3.10. Matriu.

El punxó superior prové del cilindre de 28 mm de diàmetre i 162 mm de llargada. Primerament ha estat mecanitzat amb el torn per obtenir els dos diferents diàmetres de les dos parts. A continuació amb la fresadora s'ha obtingut la forma de la part superior del punxó. I finalment se li ha realitzat els tractaments tèrmics i la rectificació. La figura 3.11 mostra el punxó superior després de la mecanització.



Figura 3.11. Punxó superior.

A la figura 3.12 es pot apreciar el punxó inferior. El cilindre original d'aquesta peça és el de dimensions de 46 mm de diàmetre i 80 mm de llargada. S'han obtingut els diàmetres de la base i de la part superior del punxó mitjançant el torn. A continuació, amb la fresadora, s'han realitzat els dos forats de la base. I finalment, com a totes les peces del dispositiu, s'han fet els tractaments tèrmics i la rectificació.



Figura 3.12. Punxó inferior.

El punxó extractor prové del cilindre d'acer de 23,5 mm de diàmetre i 80 mm de llargada. Amb el torn s'ha processat els diàmetres de la base i la part superior. A continuació, s'han realitzat els tractaments tèrmics i la rectificació. S'ha de tenir en compte que hi ha 2 punxons extractors, per tant, s'ha hagut de mecanitzar 2 cilindres amb el mateix processat. En la figura 3.13 s'observa els punxons extractors.



Figura 3.13. Punxons extractors.

S'ha de comentar que el temps que ha transcorregut des del inici del mecanitzat fins l'obtenció de totes les peces del dispositiu, ha estat de 3 setmanes. Una setmana pel mecanitzat, una altra setmana pels tractaments tèrmics i una altra pel rectificat.

3.1.7.- Toleràncies i acabat superficial.

En els plànols (veure l'annex A), s'especifica les toleràncies dels eixos i forats, i també es mostra els acabats superficials de les zones més rellevants d'aquestes peces. Les toleràncies dimensionals fixen un rang de valors permesos per les cotes funcionals de les peces del dispositiu, ja que es tracta de la introducció d'un eix (element mascle de l'acoblament) dins d'un forat (element femella de l'acoblament). Les toleràncies tenen en compte la qualitat de la peça. La qualitat és un conjunt de toleràncies que es corresponen amb un mateix grau de precisió per a qualsevol grup de diàmetres. Quan major sigui la qualitat de la peça, menor serà la tolerància.

Les toleràncies entre el forat de la matriu i els eixos dels punxons superior i inferior han de ser de gran precisió ja que el dispositiu treballa amb pols metàl·lica. La grandària de partícula de la pols no és superior a 149 μm (veure apartat 8.6), però es poden trobar algunes partícules de 1-2 μm (veure apartat 8.6). Un marge entre el forat de la matriu i l'eix de punxó superior (o inferior, ja que tenen el mateix diàmetre) de 0,010 a 0,015 mm és una tolerància correcta pel bon funcionament del utilatge.

En la figura 3.14 es pot observar les toleràncies del forat de la matriu i l'eix del punxó superior. El diàmetre del forat mai serà més petit de 8 mm i que com a màxim pot tindre un diàmetre de 8,015 mm. Mentre que l'eix del punxó, igual que el inferior, mai serà més gran de 7,995 mm i més petit de 7,986 mm de diàmetre.

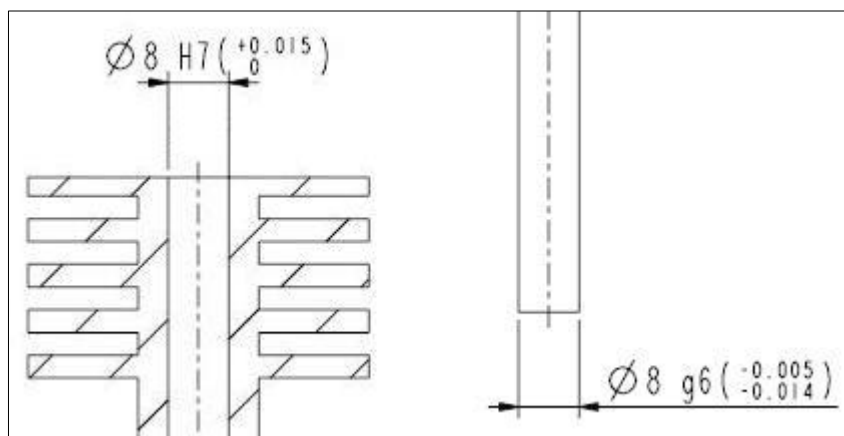


Figura 3.14. Toleràncies del forat de la matriu (esquerra de la figura) i de l'eix del punxó superior (dreta de la figura).

Les lletres que hi ha a la cota del diàmetre, *H* pel forat de la matriu i *g* per l'eix del punxó, són les posicions de la tolerància. El sistema ISO de toleràncies defineix 28 posicions diferents per a les zones de tolerància. Aquestes posicions es defineixen per unes lletres, majúscules pels forats i minúscules pels eixos, tal com es mostra en l'annex E. Les lletres *H* i *g* són les que s'acosten més al valor nominal de la cota, és a dir, que tindran una gran precisió dimensional. Mentre que els números 7 i 6 de les cotes, es refereixen a la qualitat de la tolerància. Quan més petit és aquest número, més qualitat tindrà la tolerància.

Una altra tolerància és la que hi ha entre el forat de la base del punxó inferior i l'eix del punxó extractor. En aquesta tolerància no ha de ser tant precisa que l'anterior, ja que el joc (o rang de distàncies) entre l'eix i el forat ha de ser més gran per assegurar una

bona introducció i extracció entre els components. En la figura 3.15 tenim les toleràncies entre aquests dos components.

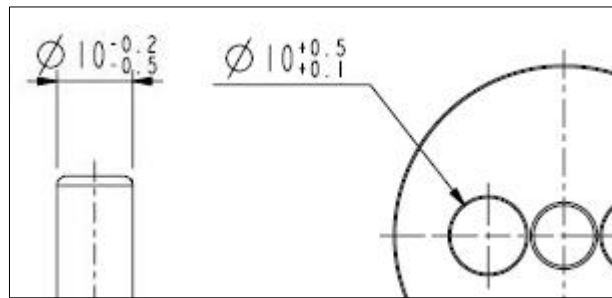


Figura 3.15. Toleràncies de l'eix del punxó extractor (esquerra de la figura) i del forat de la base del punxó inferior (dreta de la figura).

En aquesta tolerància es pot tenir un marge entre l'eix del punxó extractor i el forat de la base del punxó inferior de 0,5 mm.

Com s'ha dit al principi d'aquest apartat, s'ha de tenir en compte l'acabat superficial dels components del utilatge, ja que si hi ha una menor rugositat en les superfícies, el desgast entre les peces no serà tan abrupte i la vida del dispositiu serà més llarga. Els acabats també contribueixen a que hi hagi una bona tolerància de les distàncies. L'acabat superficial d'una peça es representa actualment amb el símbol de la figura 3.16 en forma de V.

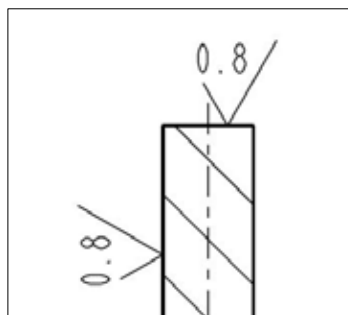


Figura 3.16. Símbols de la rugositat superficial.

On el número 0,8 és el valor de R_a de la rugositat en μm . R_a significa la desviació mitja aritmètica del perfil, és a dir, és la mitja aritmètica dels valors absoluts de les desviacions del perfil, en límits de la longitud bàsica, l . En la figura 3.17 es representa gràficament R_a .

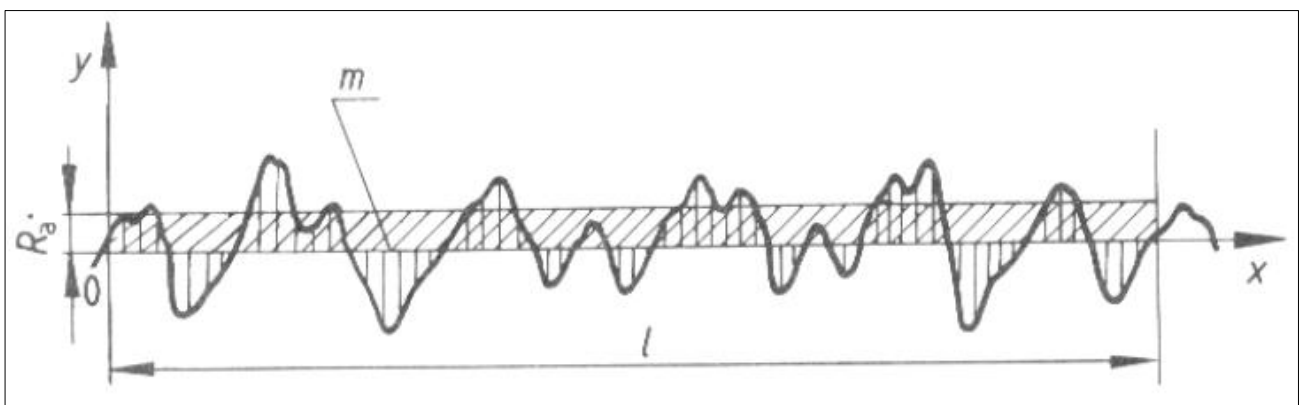


Figura 3.17. Representació de R_a en la longitud l .

En la matriu, la superfície que necessita un precís acabat és el forat, amb un valor de rugositat de $0,8\text{ }\mu\text{m}$. En el punxó superior i en el inferior, les superfícies del perímetre diàmetre de l'eix i les superfícies planes (on estan en contacte amb la pols), tenen el mateix valor de rugositat que el forat de la matriu.

Un altre valor de rugositat, però de diferent valor, és a la superfície circular inferior de la matriu i a la superfície circular superior de la base del punxó. El seu valor de rugositat és de $1,6\text{ }\mu\text{m}$. En aquest cas no es necessita un valor tant precís com l'anterior. Amb aquest valor de rugositat es té una bona estabilitat entre les dues superfícies d'aquests components del dispositiu.

3.2.- Màquina d'assaigs mecànics MTS 858.

Com s'ha comentat anteriorment, per obtenir un optimització del dispositiu, s'ha de dominar la màquina d'assaig mecànics MTS i conèixer els seus components. Concretament el nom del model de la taula d'assaigs és el *Model 858 Table Top Testing System* (figura 3.18). La UAB disposa d'aquest model en el Laboratori d'Enginyeria de Materials 2 de la ETSE.



Figura 3.18. MTS Model 858 Table Top Testing System.

3.2.1.- Descripció de la màquina d'assaigs mecànics 858.

La MTS model 858 és una opció de cost - efectivitat per aplicacions de baixa força estàtiques i dinàmiques. Dissenyada per ocupar un espai sobre el terra, la unitat de càrrega de la MTS pot adequar-se sobre una bancada. A pesar de ser extremadament compacta, la MTS proporciona un extens rang de característiques:

- un rang de forces de 25 KN fins 5 KN,
- un rendiment raonable,
- l'habilitat d'anàlisi de resistència des de materials plàstics a metàl·lics (entre d'altres),
- acomodació a les grandàries de les provetes,
- capacitat d'efectuar tensió, compressió, flexió i anàlisi de fatiga i anàlisi de durabilitat de petits components, i
- ample espaiat entre columnes per acomodar grans instal·lacions, càmeres amb variació a voluntat de temperatura i humitat, i forns.

La MTS, com s'acaba de veure, té una gran possibilitat de realitzar anàlisis, assaigs i processos experimental, però en aquest projecte ens centrarem en les característiques següents:

- en la força que es pot aplicar,
- adaptació de l'alçada del pistó (unitat de càrrega) per poder acomodar la mida del dispositiu,
- realització d'assaigs de compressió, i
- utilització del forn acoblat.

3.2.2.- Descripció dels components del model 858 Table Top Testing System.

El model 858 Table Top Testing System està format per varis components com es pot apreciar a la figura 3.19. Cada un d'aquests components tenen la seva funció i importància dintre el conjunt de la taula d'assaigs mecànics.



Figura 3.19. Conjunt del model Table Top Testing System.

Tot seguit es descriuen les principals funcions de cadascun dels components del model 858 Table Top Testing System.

- PC i TestStar System Software (figura 3.20):

- Control dels paràmetres de l'assaig.
- Mostrar els resultats.
- Execució de l'assaig.
- Emmagatzemat de les dades.
- Anàlisi de les dades.



Figura 3.20. PC i TestStar System Software.

- Controlador digital (figura 3.21):

- Adquisició de dades.
- Generador de funcions.
- Comprovació dels límits.
- I/O digital.
- Condicionament del senyal.
- Control de les vàlvules.



Figura 3.21. Controlador digital.

- Unitat de càrrega (figura 3.22):

- Transforma la potència hidràulica en càrrega.

- Aplicar càrrega a la proveta.



Figura 3.22. Unitat de càrrega.

- Estació de control remot (figura 3.23):
 - Permet la col·locació de la proveta.
 - Control del sistema hidràulic.
 - Control manual de la MTS.



Figura 3.23. Estació de control remot.

- Stop remot (figura 3.24):
 - Talla el subministrament de potència hidràulica al sistema en cas d'emergència.

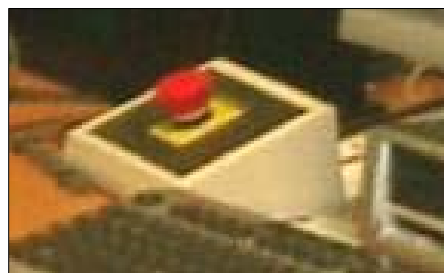


Figura 3.24. Stop remot.

- Grup hidràulic (figura 3.25):
 - Subministra potència hidràulica al sistema.



Figura 3.25. Grup hidràulic.

- Mordasses (figura 3.26):
 - Subjectar les provetes o galgues de compressió.



Figura 3.26. Mordasses.

- Control de subjecció hidràulic (figura 3.27):

- Permet el control d'obertura i tancament de les dues mordasses, i també controlar la pressió que exerceixen.



Figura 3.27. Control de subjecció hidràulic (part esquerra de la figura).

- Galga de compressió (figura 3.28):

- Rang de temperatures de -129°C a 177°C .
- Rang estàtic màxim en l'àrea de contacte de 690 MPa.
- Galga per assaigs de compressió.
- Subjecció amb les mordasses inferiors.



Figura 3.28. Galga de compressió.

- Forn, Model 653 High-Temperature Furnace (figura 3.29):

- Rang de temperatura de treball és de 100°C a 1.400°C .
- Format per 2 mòduls mòbils.
- Controlat del control de temperatura i des del PC.
- Altura de treball adaptable a les provetes o al dispositiu.



Figura 3.29. Forn, Model 653 High-Temperature Furnace.

- Control de temperatura, model 409,83 (figura 3.30):

- Control de la temperatura de treball dels 2 mòduls (cada pantalla correspon a un mòdul, els dígitos superiors de la pantalla indiquen la temperatura del forn, mentre que els dígitos inferiors indiquen a la temperatura de treball).



Figura 3.30. Control de temperatura, model 409,83.

3.2.3.- Programació MTS (*Station Manager*).

Els paràmetres de la màquina d'assaigs i el forn es poden controlar de manera manual o programada. Amb l'estació de control remot (veure apartat 3.2.2) es controla manualment els paràmetres de la MTS com la distància entre les mordasses (desplaçament axial) i la força que volem aplicar, entre d'altres. I amb el control de temperatura els del forn, bàsicament controlar la temperatura de treball del forn. Mentre que el programa informàtic *Station Manager* (software de la MTS) es pot controlar la MTS i el forn, i els seus paràmetres, de manera programada, senzilla, eficaç i automàtica.

En aquest apartat es centra en la programació del *Station Manager*, és a dir, definir els paràmetres i els seus valors, per tal d'obtenir l'assaig desitjat. Els paràmetres que s'utilitzen per la MTS són:

- força de compressió que es vol aplicar,
- rampa de la força aplicada, i
- el temps que es mantindrà la força.

I per part del forn, els paràmetres són:

- temperatura de treball,
- rampa de la temperatura de treball, i
- temps de manteniment de la temperatura de treball.

El tipus de processat que exerceix el dispositiu és conegut com a premsat en calent, és a dir, mentre s'aplica la força de compressió s'aporta calor al sistema. Per tant, a l'hora de programar el funcionament del processat, s'ha de tenir en compte l'ordre dels paràmetres que s'aplicaran en l'assaig. L'ordre dels paràmetres és:

- primer, aplicar calor fins arribar a la temperatura de treball desitjada, i
- segon, aplicar la força axial de compressió mentre es manté la temperatura durant el temps desitjat.

Per tal de realitzar dita programació, primer de tot s'ha posar en funcionament el conjunt de la MTS (veure apartat 4.2). A continuació cal seguir els següents punts per tal d'obtenir una òptima programació, que són:

-Obrir *Station Manager* fent doble clic amb el ratolí sobre la icona (figura 3.31) que hi ha al escriptori (assegurar-se de que el sistema està operatiu, apartat 4.2).

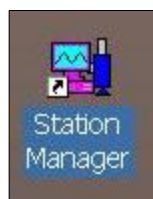


Figura 3.31. Icona Station Manager.

-Seleccionar l'arxiu *Forn_AI.cfg* en el menú *Open Station* (figura 3.32) i fer clic a *Open*.

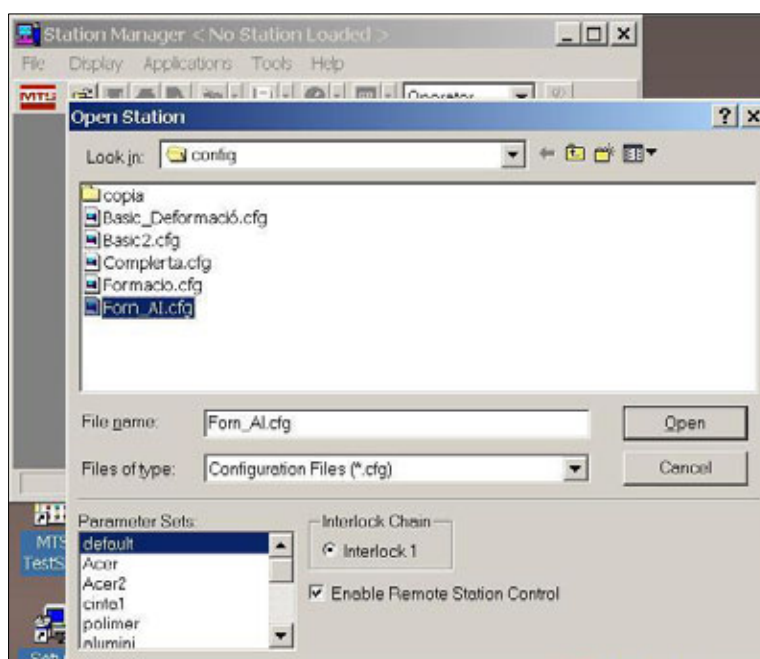


Figura 3.32. Menú Open Station.

-Un cop realitzada l'operativitat de la MTS (figures 4.10 fins 4.15 de l'apartat 4.2), es passa a la programació per tal d'establir els paràmetres de l'assaigs. Fer clic a *Applications* de la barra de menú superior de la pantalla principal i tornar a clicar a *MultiPurpose TestWare (Edit Only)* tal com mostra la figura 3.33.



Figura 3.33. Applications → MultiPurpose TestWare (Edit Only).

-Apareix una nova finestra anomenada *MPT (2) Procedure Editor* (figura 3.34).

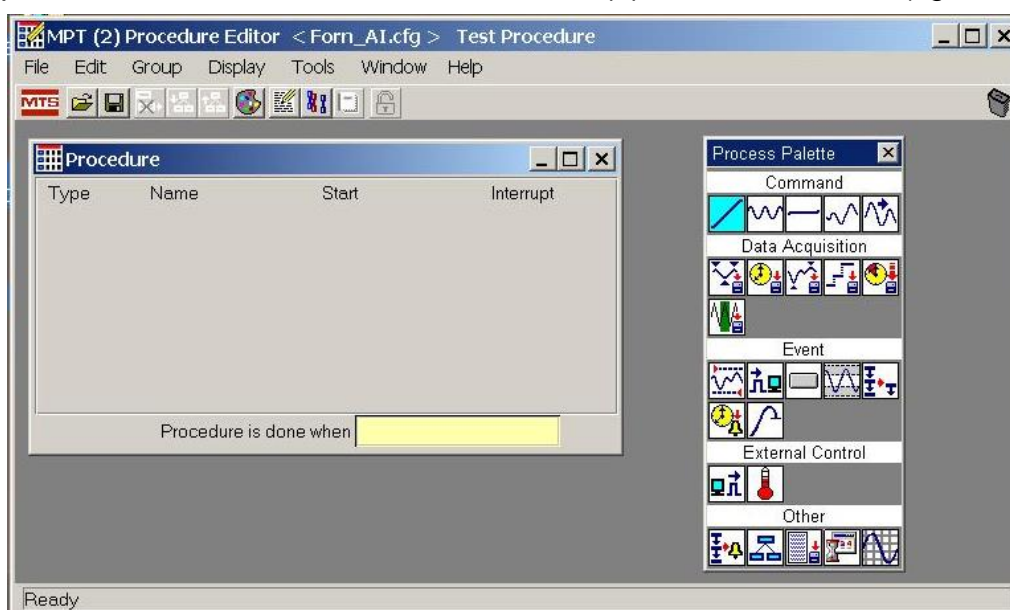


Figura 3.34. MPT (2) Procedure Editor.

Aquesta nova finestra serveix per editar els paràmetres de la MTS i del forn, els seus valors i l'ordre dels paràmetres. En aquest projecte s'ha editat els paràmetres amb l'ordre abans comentat (primer, aplicar calor fins arribar a la temperatura desitjada, i després aplicar la força axial de compressió mentre es manté la temperatura durant el temps desitjat). També intervenen certs límits per tal que l'ordre establert funcioni correctament.

-Si es vol realitzar un nou procediment per editar els paràmetres, fer clic a *File* i després a *New Procedure*, tal com es mostra a la figura 3.35.



Figura 3.35. File → New Procedure.

-Com que el procediment del processat de premsat en calent ja va ser editat, programat i guardat en el fitxer corresponent, per tant clicar *File* i després *Open Procedure*. Seleccionar el fitxer *compressio_20KN_temp.000* i fer clic a *Open* (figura 3.36).

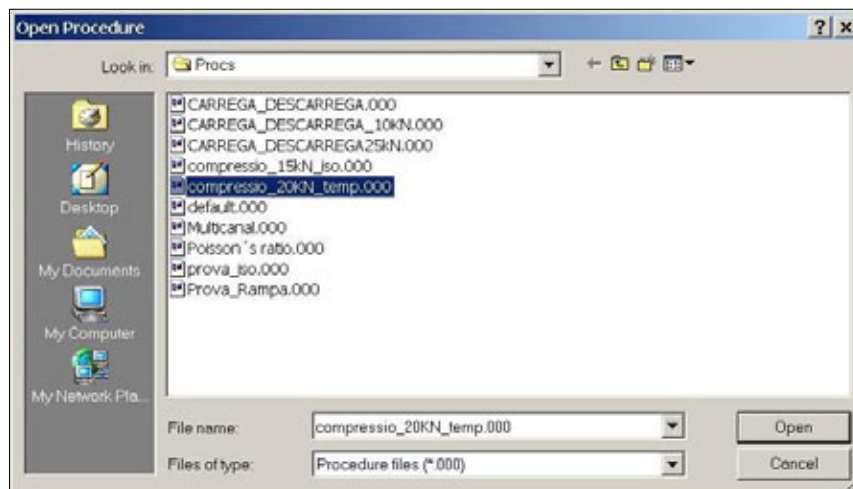


Figura 3.36. *File*→*Open Procedure*→*compressio_20KN_temp.000*→*Open*.

-En la figura 3.37 apareix el procediment desitjat per fer els assaigs de premsat amb calent.











Procedure			
Type	Name	Start	Interrupt
	temp 355	<Procedure>.Start	limit temp.Done
	carrega	temp 355.Done	max 10KN.Done
	iso 355	temp 355.Done	-10KN.Done
	-10KN	carrega.Done	limit temps.Done
	temp 0	-10KN.Done	
	descarrega	-10KN.Done	<Procedure>.Interrupt
	limit temp	<Procedure>.Start	
	max 10KN	<Procedure>.Start	descarrega.Done
	limit temps	-10KN.Done	descarrega.Done
	dades	<Procedure>.Start	
Procedure is done when		descarrega.Done	

Figura 3.37. Procediment pel premsat en calent.

A continuació s'explicarà els processos establerts on s'especificarà els paràmetres necessaris i els valors que poden ser modificats. Cal comentar l'ordre dels paràmetres establerts que es pot observar en la figura 3.37. En la finestra de la figura hi ha 4 columnes, la primera de l'esquerra (*Type*) és el tipus comando del paràmetre; la segona (*Name*), el nom del comando; la tercera (*Start*), el comando o procediment que inicia el comando del paràmetre; i la quarta (*Interrupt*), el comando o procediment que finalitza o

interromp el comando del paràmetre.

Cada procés programat per l'assaig li correspon una icona de comando. Les icones de comando que s'utilitzen es mostren en la figura 3.38.

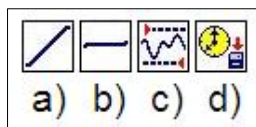


Figura 3.38. Icones dels comandos.

La icona a) correspon al comando de la rampa del paràmetre, és a dir, arriba al valor del paràmetre programat en un cert temps. La icona b) al comando de manteniment del valor del paràmetre. La c) és el comando de límit, és a dir, amb aquest comando es crea certs límits dels paràmetres per finalitzar altres comandos. I el comando d) és el comando d'adquisició de dades de l'assaig.

-El primer procés és escalfar el forn a la temperatura de treball, per tant s'utilitza el comando de rampa de temperatura. Fer doble clic sobre la icona de comando de *temp 355* perquè apareix-hi la finestra del comando (figura 3.39). S'ha de tenir en compte que els noms dels comandos i els valors dels paràmetres estan establerts d'aquesta manera, però es poden canviar al gust de l'usuari i de l'assaig que pertoqui.

A la pestanya *Command* de la figura 3.39, a *Segment Shape* seleccionar *Ramp*, *Time*, el valor variable del temps de la rampa (5,000) i les unitats del temps (*Min*). A *Adaptive Compensators* seleccionar *None* i no activar les caselles de *Do Not Update Counters* ni *Relative End Level*.

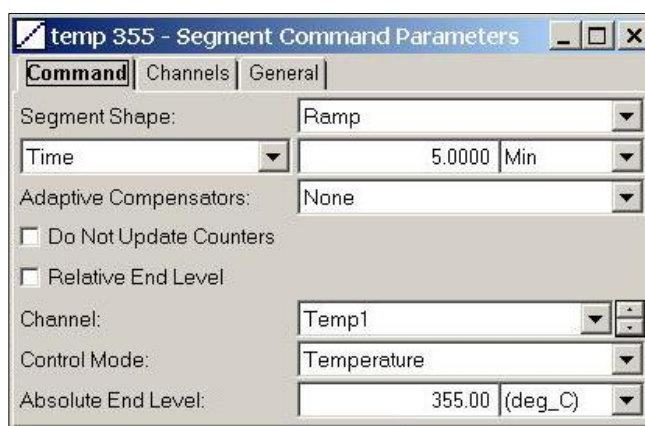


Figura 3.39. Pestanya Command del comando temp 355.

Perquè es mostrin els paràmetres de temperatura de treball a les pestanyes de *Channel*, *Control Mode* i *Absolute End Level* de la figura 3.39, s'han de seleccionar el canal o els canals d'aquests paràmetres per poder-los controlar, per tant clicar sobre la pestanya *Channels* (figura 3.40). Incloure en el requadre *Included* els canals *Temp1* i *Temp2*, mentre al requadre *Available* posar el canal *Axial* per excloure'l del comando.



Figura 3.40. Pestanya Channels del comando temp 355.

Tornar a clicar la pestanya de *Command* (figura 3.39) per configurar els paràmetres i valors de la temperatura de treball. Tenint en compte que s'ha seleccionat dos canals de temperatura (*Temp1* i *Temp2*), els quals es mostren a la pestanya *Channel*, assegurar-se que en les pestanyes de *Control Mode* i *Absolute End Level* tinguin els mateixos paràmetres i valors. És a dir, *Temperature*, la temperatura de treball de 355,00 i (*deg_C*) respectivament pels dos canals de temperatura (*Temp1* i *Temp2*).

A la pestanya *General* (figura 3.41), es pot canviar el nom del comando al requadre de *Name*. Activar la casella de *Process Enabled*, posar el valor de 1 a *Execute Process* perquè el comando s'executi un cop (*Time(s)*), i seleccionar *Fixed* a la pestanya de *Counter Type*.

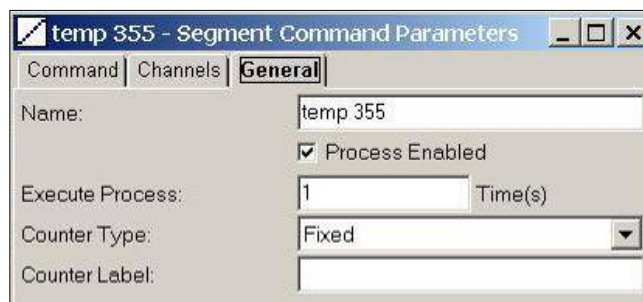


Figura 3.41. Pestanya General del comando temp 355.

El comando *temp 355* s'activa quan s'inicia l'assaig (<*Procedure.Start*>) i finalitza amb el comando de límit *limit temp* com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

-A continuació, es programa el comando de rampa de la força axial de compressió perquè aquesta s'apliqui quan el forn arriba a la temperatura de treball. Fer doble clic sobre la icona del comando *carrega* i seleccionar la pestanya *Channels* (figura 3.42) de la nova finestra. Incloure en el requadre *Included* el canal *Axial*, mentre al requadre *Available* posar els canals *Temp1* i *Temp2* per excloure'ls del comando.



Figura 3.42. Pestanya Channels del comando carrega.

Seleccionar la pestanya *Command* (figura 3.43), a *Segment Shape* seleccionar *Ramp*, *Time*, el valor del temps de la rampa (30,000) i les unitats del temps (*Sec*). A *Adaptive Compensators* seleccionar *None* i no activar la casella de *Do Not Update Counters* però sí la de *Relative End Level*. A la pestanya de *Channel* seleccionar *Axial*, a la de *Control Mode*, *Force*, i a la de *Relative End Level*, el valor de la força de compressió de -20,000 i les unitats de *kN*. S'ha de tenir en compte el valor negatiu de la força ja que es tracta de força de compressió.

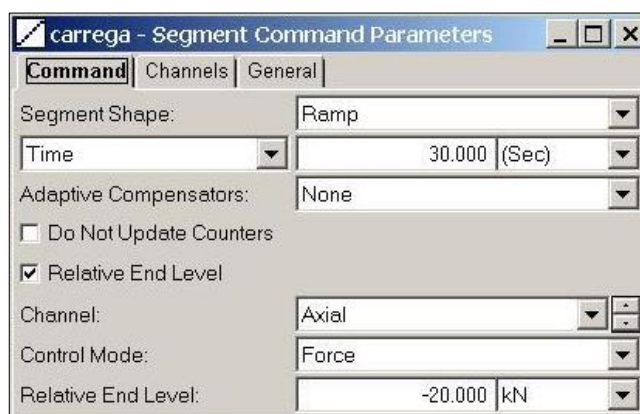


Figura 3.43. Pestanya Command del comando carrega.

A la pestanya *General* (figura 3.44), es pot canviar el nom del comando al requadre de *Name*. Activar la casella de *Process Enabled*, posar el valor de 1 a *Execute Process*, i seleccionar *Fixed* a la pestanya de *Counter Type*.



Figura 3.44. Pestanya General del comando e carrega.

El comando *carrega* s'activa quan el comando *temp 355* ha finalitzat i ha arribat al valor programat (*temp 355.Done*), i finalitza amb el comando de límit *max 10KN* com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

-Per mantenir la temperatura de treball durant el temps de compressió, s'utilitza el comando de manteniment del valor del paràmetre. Per tant fer doble clic sobre la icona *iso 355* per obrir la finestra i seleccionar la pestanya *Channels* (figura 3.45). Incloure en el requadre *Included* els canals *Temp1* i *Temp2*, mentre al requadre *Available* posar el canal *Axial* per excloure'l del comando.

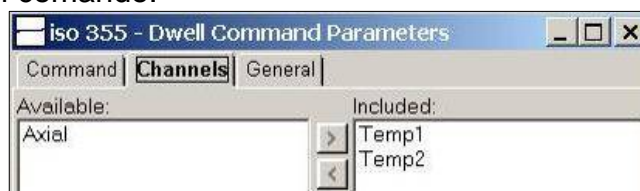


Figura 3.45. Pestanya Channels del comando iso 355.

Seleccionar la pestanya *Command* (figura 3.46), seleccionar *Time*, el valor variable del temps de manteniment de la temperatura de treball i les seves unitats, *20,000* i *Min* respectivament. No activar *Do Not Update Counters*. Assegurar-se que els dos canals de *Channel* (*Temp1* i *Temp2*) mostrin a *Control Mode* el paràmetre de *Temperature*.

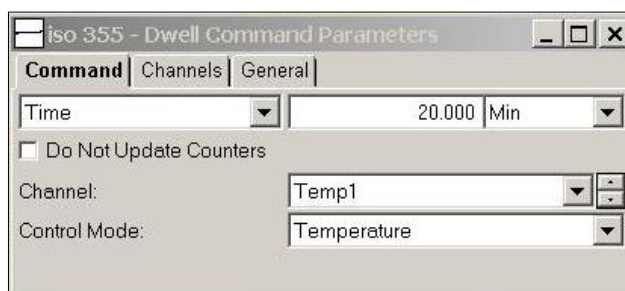


Figura 3.46. Pestanya Command del comando iso 355.

A la pestanya *General* (figura 3.47), es pot canviar el nom del comando al requadre de *Name*. Activar la casella de *Process Enabled*, posar el valor de *1* a *Execute Process*, i seleccionar *Fixed* a la pestanya de *Counter Type*.



Figura 3.47. Pestanya General del comando iso 355.

El comando *iso 355* s'activa quan el comando *temp 355* ha finalitzat i ha arribat al valor programat (*temp 355.Done*), i s'interromp quan finalitza el comando *-10KN* com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

-Per mantenir la força axial de compressió durant un temps, s'utilitza el comando de manteniment del valor del paràmetre. Per tant fer doble clic sobre la icona *-10KN* per obrir la finestra i seleccionar la pestanya *Channels* (figura 3.48). Incloure en el requadre *Included* el canal *Axial*, mentre al requadre *Available* posar els canals *Temp1* i *Temp2*.

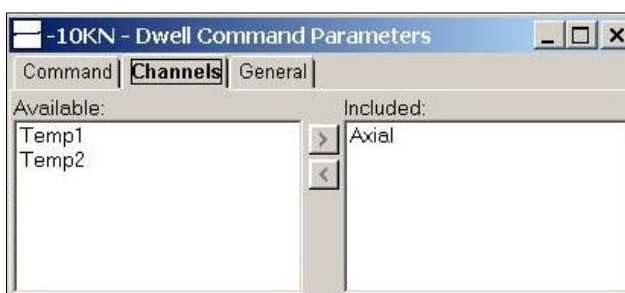


Figura 3.48. Pestanya Channels del comando -10KN.

Seleccionar la pestanya *Command* (figura 3.49), seleccionar *Time*, el valor variable del temps de manteniment de la força axial de compressió i les seves unitats, *10,000* i *Min* respectivament. No activar *Do Not Update Counters*. Seleccionar *Axial* a *Channel*, i *Force* a *Control Mode*.

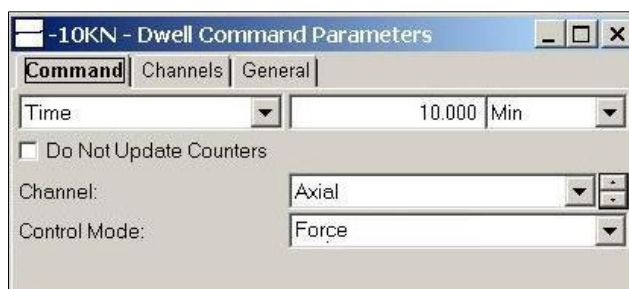


Figura 3.49. Pestanya Command del comando -10KN.

A la pestanya *General* (figura 3.50), es pot canviar el nom del comando al requadre de *Name*. Activar la casella de *Process Enabled*, posar el valor de 1 a *Execute Process*, i seleccionar *Fixed* a la pestanya de *Counter Type*.

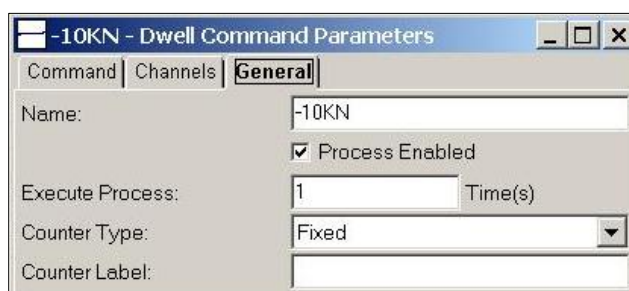


Figura 3.50. Pestanya General del comando -10KN.

El comando -10KN s'activa quan el comando *carrega* ha finalitzat i ha arribat al valor programat (*carrega.Done*), i s'interromp amb el comando de límit *limit temps* com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

-Tal com s'ha programat una rampa per arribar a la temperatura de treball, també es programa una rampa per disminuir la temperatura del forn. Fer doble clic sobre la icona del comando *temp 0*, seleccionar la pestanya *Channels* i incloure en el requadre *Included* els canals *Temp1* i *Temp2*.

A la pestanya de *Command*, a *Segment Shape* seleccionar *Ramp*, *Time*, el valor del temps de la rampa (10.000) i les unitats del temps (*Min*). A *Adaptive Compensators* seleccionar *None* i no activar les caselles de *Do Not Update Counters* i *Relative End Level*. Assegurar-se que els dos canals de *Channel* (*Temp1* i *Temp2*) mostrin a *Control Mode* i a *Absolute End Level*, el paràmetre de *Temperature* i els valors de 0,0000 (*deg_C*) respectivament.

A la pestanya *General*, es pot canviar el nom del comando al requadre de *Name*. Activar la casella de *Process Enabled*, posar el valor de 1 a *Execute Process*, i seleccionar *Fixed* a la pestanya de *Counter Type*.

El comando *temp 0* s'activa quan el comando -10KN ha finalitzat com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

-També es necessita una rampa per tal de que es deixi d'aplicar força axial de compressió. Fer doble clic sobre la icona *descarrega*, seleccionar la pestanya de *Channels* i incloure en el requadre *Included* el canal *Axial*.

Seleccionar la pestanya *Command*, a *Segment Shape* seleccionar *Ramp*, *Rate*, el

valor del rang de la rampa (20,000) i les unitats del temps (kN/Min). A *Adaptive Compensators* seleccionar *None* i no activar les caselles de *Do Not Update Counters* ni *Relative End Level*. A la pestanya de *Channel* seleccionar *Axial*, a la de *Control Mode*, *Force*, i a la de *Relative End Level*, el valor de la força de compressió de -0,1000 i les unitats de kN. S'ha de tenir en compte el valor negatiu de la força ja que es tracta de força de compressió.

A la pestanya *General*, es pot canviar el nom del comando al requadre de *Name*. Activar la casella de *Process Enabled*, posar el valor de 1 a *Execute Process*, i seleccionar *Fixed* a la pestanya de *Counter Type*.

El comando *descarrega* s'activa quan el comando -10KN ha finalitzat i s'interromp quan l'assaig ha finalitzat (<Procedure.Interrupt>), tal com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

-Per tal d'aturar el comando de la rampa de la temperatura de treball i no posar en perill el conjunt de la MTS, es programa el comando de límit *limit temp*, el qual limita que hi hagi un excés de temperatura durant l'assaig. Fer doble clic sobre la seva icona, seleccionar la pestanya de *Signals* (figura 3.51), i afegir al requadre *Included* les senyals *Temp1 Temperature* i *Temp2 Temperature*.

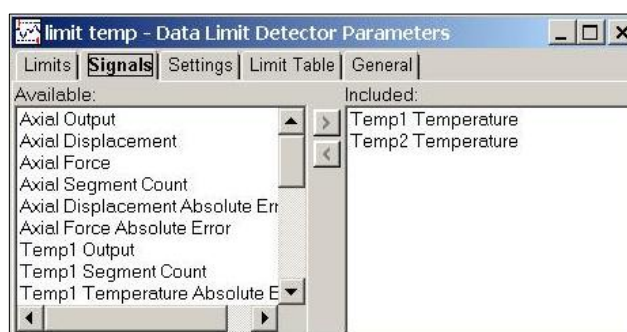


Figura 3.51. Pestanya *Signals* del comando *limit temp*.

A la pestanya *Limits* (figura 3.52), assegurar-se que estiguin activades les caselles de *Upper Limit* amb els seus valors i unitats de 354,00 i (deg_C) respectivament, de les senyals *Temp1 Temperature* i *Temp2 Temperature* de la pestanya *Signal*. Aquests valors dels límits han de ser 1 unitat més petita que el valor del paràmetre, en aquest cas, la temperatura de treball, per tal de que s'activin correctament durant de l'assaig.

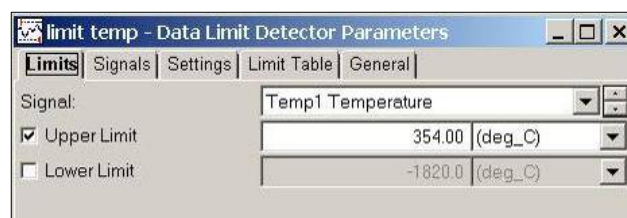


Figura 3.52. Pestanya *Limits* del comando *limit temp*.

A la pestanya *Settings* (figura 3.53), activa la casella de *Absolute* de *Limit Mode*, i també la casella de *Any selected signal exceeds its limit* de *Process completes when*. Activa la casella de *Log Message As*, i seleccionar *Warning*, i *None* de la pestanya de *Action*.

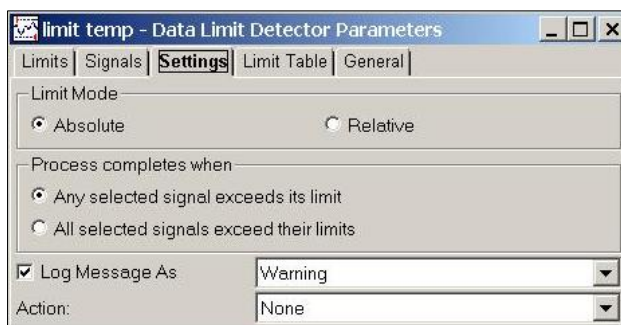


Figura 3.53. Pestanya Settings del comando limit temp.

A la pestanya de *Limit Table* (figura 3.54), s'observa els senyals (*Temp1 Temperature* i *Temp2 Temperature*) seleccionats a la pestanya *Signals*, i els valors dels límits (354,00 deg_C) editats a la pestanya *Limits*. Assegurar-se que les caselles de *Upper Limit* estiguin activades.

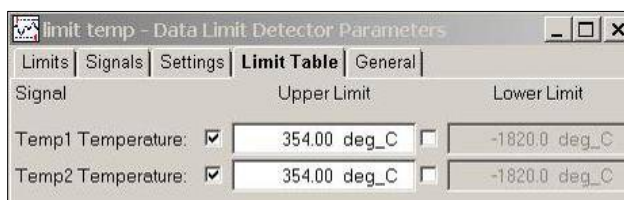


Figura 3.54. Pestanya Limits Table del comando limit temp.

A la pestanya *General* (figura 3.55), es pot canviar el nom del comando al requadre de *Name*. Activar la casella de *Process Enabled*, posar el valor de 1 a *Execute Process*, i seleccionar *Fixed* a la pestanya de *Counter Type*.

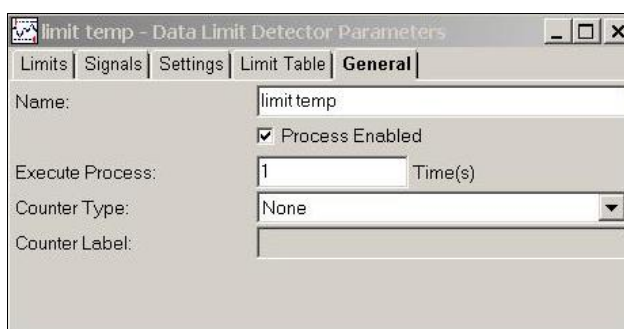


Figura 3.55. Pestanya General del comando limit temp.

El comando *limit temp* s'activa quan s'inicia l'assaig (<Procedure.Start>) com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

-Per aturar el comando de la rampa de la força axial de compressió es programa el comando límit *max 10KN*, el qual limita un excés de carrega durant l'assaig. Fer doble clic sobre la seva icona, seleccionar la pestanya de *Signals*, i afegir al requadre *Included* la senyal *Axial Force*.

A la pestanya *Limits* (figura 3.56), activar la casella de *Lower Limit* i posar el valor i les unitats, -20,100 i kN respectivament. El valor del límit ha de ser 0,100 més gran que el valor del paràmetre.

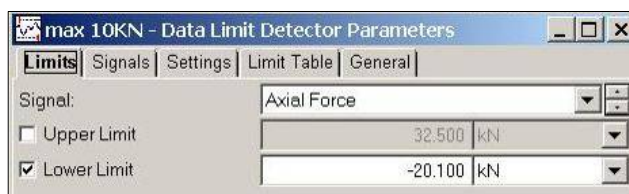


Figura 3.56. Pestanya Limits del comando max 10KN.

A la pestanya *Settings*, activa la casella de *Absolute* de *Limit Mode*, i també la casella de *Any selected signal exceeds its limit* de *Process completes when*. Activa la casella de *Log Message As*, i seleccionar *Warning*, i *None* de la pestanya de *Action*.

A la pestanya de *Limit Table*, s'observa el senyal (*Axial Force*) seleccionat a la pestanya *Signals*, i el valor del límit (*-20,100 kN*) editats a la pestanya *Limits*. Assegurar-se que la casella de *Lower Limit* estigui activada.

A la pestanya *General*, es pot canviar el nom del comando al requadre de *Name*. Activar la casella de *Process Enabled*, posar el valor de *1* a *Execute Process*, i seleccionar *Fixed* a la pestanya de *Counter Type*.

El comando *max 10KN* s'activa quan s'inicia l'assaig (<*Procedure.Start*>) i s'interromp quan finalitza el comando *descarrega*, com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

-Per aturar el manteniment de la força axial de la força de compressió, es programa el comando límit *limit temps*. Fer doble clic sobre la seva icona, seleccionar la pestanya de *Signals*, i afegir al requadre *Included* la senyal *Time*.

A la pestanya *Limits* (figura 3.57), activar la casella de *Upper Limit* i posar el valor i les unitats, *10,050* i *Min* respectivament. El valor del límit ha de ser més gran que el valor del paràmetre, en aquest cas, el temps de la càrrega.

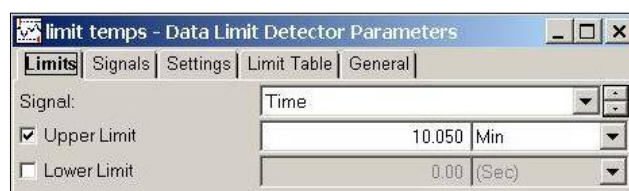


Figura 3.57. Pestanya Limits del comando limit temps.

A la pestanya *Settings*, activa la casella de *Relative* de *Limit Mode*, i també la casella de *Any selected signal exceeds its limit* de *Process completes when*. Activa la casella de *Log Message As*, i seleccionar *Warning*, i *None* de la pestanya de *Action*.

A la pestanya de *Limit Table*, s'observa el senyal (*Time*) seleccionat a la pestanya *Signals*, i el valor del límit (*10,050 Min*) editats a la pestanya *Limits*. Assegurar-se que la casella de *Upper Limit* estigui activada.

A la pestanya *General*, es pot canviar el nom del comando al requadre de *Name*. Activar la casella de *Process Enabled*, posar el valor de *1* a *Execute Process*, i seleccionar *Fixed* a la pestanya de *Counter Type*.

El comando *limit temps* s'activa quan finalitza el comando de manteniment de la força axial de compressió (*-10KN*) i s'interromp quan finalitza el comando *descarrega*,

com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

-Per tal d'obtenir les dades dels assaigs, es programa el comando d'adquisició de dades *dades* per tant fer doble clic a la seva icona corresponent. A la pestanya *Acquisition* (figura 3.58) seleccionar *Time Between Points*, i després el valor de temps i les seves unitats per que el programa copii les dades desitjades. Es recomana cada 30 segons o cada minut, segons al gust de l'usuari.

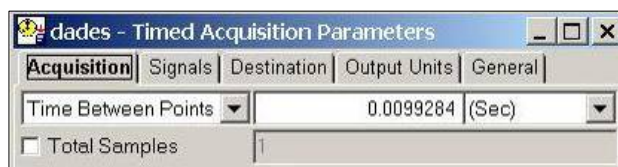


Figura 3.58. Pestanya Acquisition del comando dades.

A la pestanya *Signals* (figura 3.59), incloure al requadre Included tots els paràmetres que es vulguin obtenir dades, en aquest cas, *Axial Force*, *Axial Displacement*, *Temp1 Temperature* i *Temp2 Temperature*.

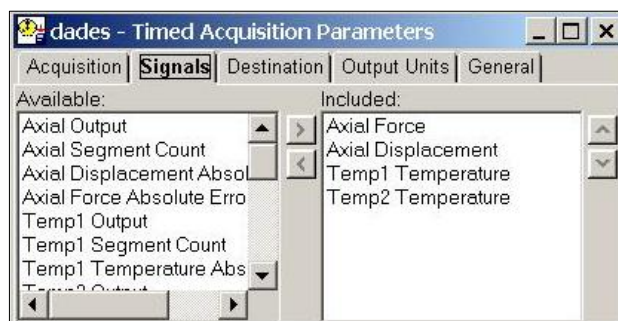


Figura 3.59. Pestanya Signals del comando dades.

Mantenir els mateixos paràmetres i valors de les pestanyes *Destination*, *Output Units* i *General*, tal com es mostren a les figures 3.60, 3.61 i 3.62 respectivament.

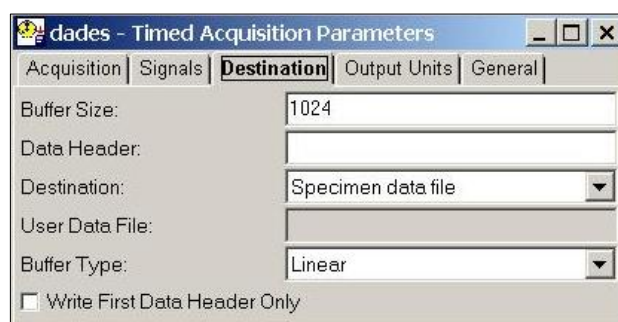


Figura 3.60. Pestanya Destination del comando dades.

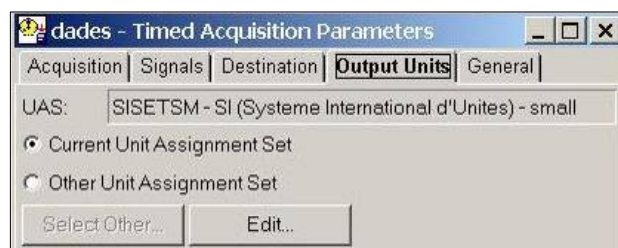


Figura 3.61. Pestanya Output Units del comando dades.

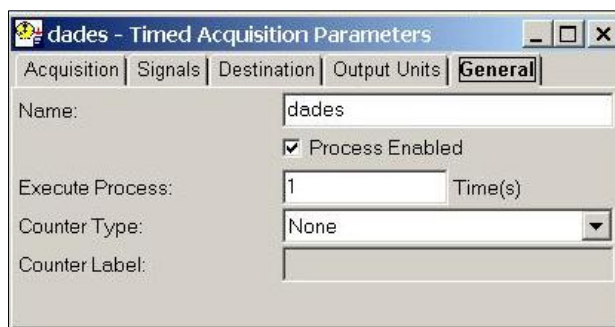


Figura 3.62. Pestanya General del comando *dades*.

El comando *dades* s'activa quan s'inicia l'assaig (<Procedure.Start>), com es mostra en la figura del procediment de l'assaig (figura 3.37).

La ruta per tal d'obtenir les dades emmagatzemades al PC és *C:\tsiis\mpt\Specimens*.

-Realitzat la programació dels paràmetres i els seus valors, es passa a gravar el procediment, per tant fer clic sobre *File* a la barra de menú i seleccionar *Save Procedure* (figura 3.63). I a continuació per tanca l'aplicació MPT i tornar a la pantalla principal, clicar *File* i després *Exit MPT*.

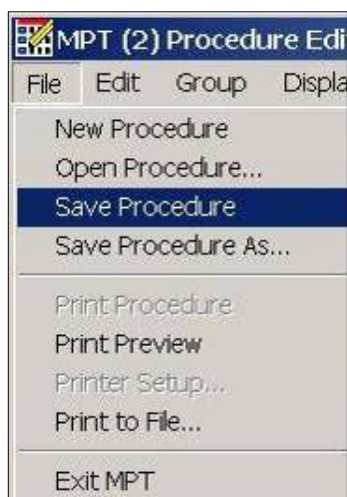


Figura 3.63. *File* → *Save procedure*.

-Per tal d'activar el procediment programat, seleccionar *Applications* i *MultiPurpose TestWare* (figura 3.64) de la barra superior de la pantalla principal.



Figura 3.64. *Applications* → *MultiPurpose TestWare*.

-Apareix l'aplicació MPT tal com es mostra a la figura 3.65.

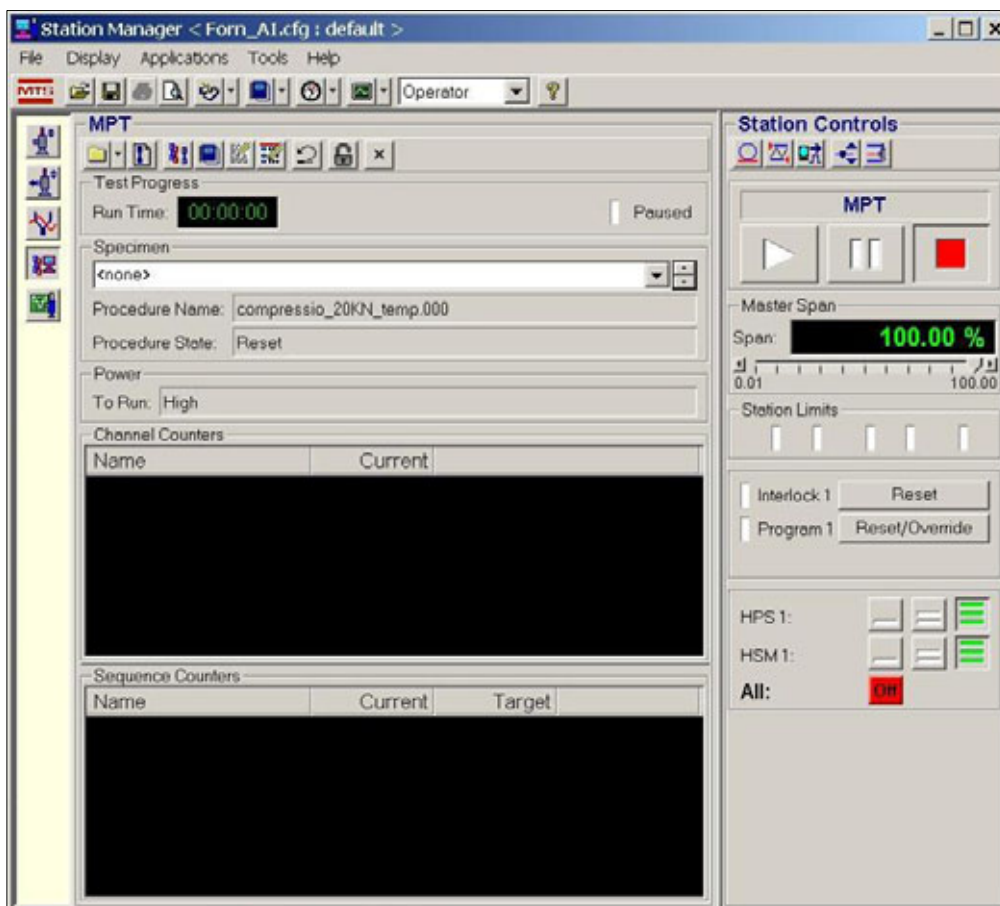


Figura 3.65. Pantalla del MPT.

-Per obrir el procediment de l'assaig programat, clicar a la carpeta que es mostra a la figura 3.66, després seleccionar *compressio_20KN_temp.000* i pulsar *Open* (figura 3.67).



Figura 3.66. Clicar sobre la carpeta encerclada.

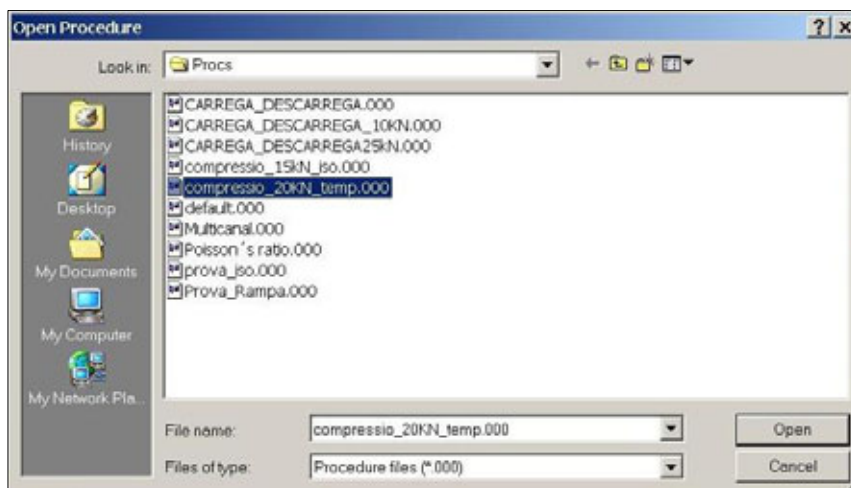


Figura 3.67. Seleccionar *compressio_20KN_temp.000* → *Open*.

-A la pantalla de l'aplicació, clicar sobre la pestanya de *Specimen* i seleccionar *al* (figura 3.68).

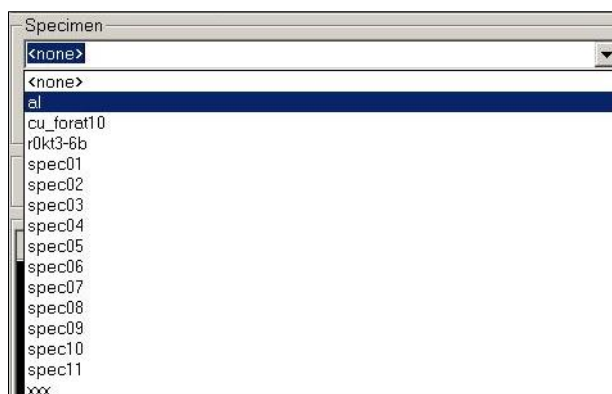


Figura 3.68. Specimen → al.

-Apareix una nova finestra (figura 3.69). Activar les caselles *Currently loaded procedure* i *Reset*, i clicar *OK*. Així eliminem els paràmetres d'assaigs anteriors.

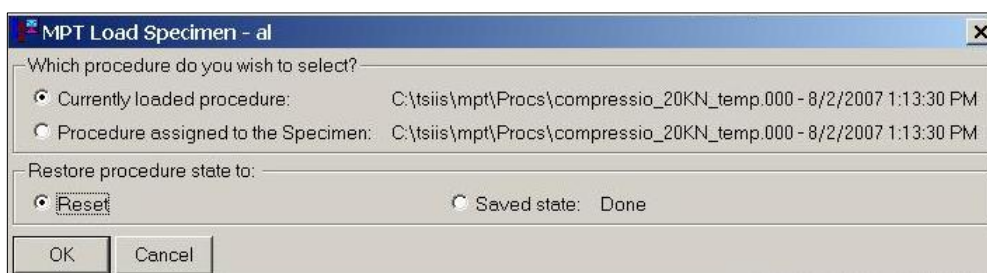


Figura 3.69. MPT Load Specimen - al.

-Als requadres negres de *Channel Counters* i *Sequence Counters*, apareix el procediment de l'assaig de premsat en calent programat (figura 3.70). Al requadre *Sequence Counters* es pot observar els comandos programats i l'ordre o seqüència d'execució. Quan s'inicia l'assaig, a la columna de *Current* d'aquest requadre s'observa el número 0 quan s'executa el comando i el número 1 quan ha finalitzat.

Channel Counters	
Name	Current
Axial	0 Cycles
Temp1	0 Cycles
Temp2	0 Cycles

Sequence Counters		
Name	Current	Target
temp 355		1
carrega		1
iso 355		1
-10KN		1
temp 0		1
descarrega		1

Figura 3.70. Requadres Channel Counters i Sequence Counters.

-Un cop arribat aquest punt, es pot iniciar l'assaig (apartat 4.2). Els valors dels paràmetres corresponents als assaigs realitzats es poden trobar a l'apartat 7.2.

3.3.- Components secundaris.

En el conjunt del sistema, es troba components secundaris que tenen la funció d'ajudar, com també protegir, altres components del sistema, com a sistema de seguretat i per controlar paràmetres concrets durant l'assaig. Aquests components secundaris són elements, components o aparells externs al conjunt de la MTS. Els components secundaris són:

- mampara protectora,
- plaquetes de carbur de tungstè,
- lubricant,
- llana de quars, i
- termòmetre electrònic i termopars.

3.3.1.- Mampara protectora.

La mampara protectora (figura 3.71) ha estat fabricada pel Servei Tècnic de la UAB expressament per la realització dels assaigs de premsat en calent. La funció de la mampara és protegir a l'usuari quan es realitza assaigs de compressió. La seva manipulació ha de ser efectuada per 2 persones degut al seu pes.



Figura 3.71. Mampara protectora.

La mampara està formada per tres plaques de PMMA (polimetilmetacrilat) d'uns 80 cm d'altura, uns 40 cm d'amplada i 20 mm de gruix cada una, i estan unides per cargols. Les plaques laterals han estat mecanitzades per tal que encaixessin perfectament a la MTS i al forn. Disposa de 4 manetes o agafadors per tal de manipular la mampara.

3.3.2.- Plaquetes de carbur de tungstè.

Es disposa de 2 plaquetes de carbur de tungstè (figura 3.72) facilitades pel departament de Física de Materials II de la UAB. Aquests plaquetes tenen la funció de protegir la galga de compressió durant l'assaig degut a la seva elevada duresa. Es localitzen exactament entre el dispositiu i la galga de compressió (apartat 4.2).

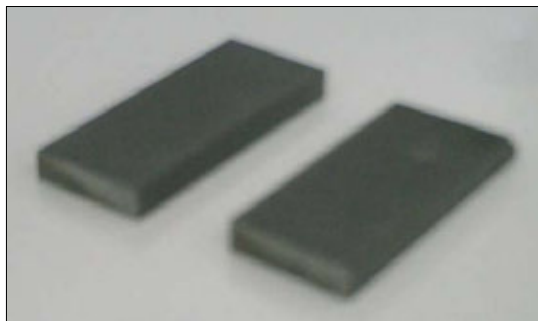


Figura 3.72. Plaquetes de carbur de tungstè.

Les plaquetes tenen unes dimensions de aproximadament 48 mm de longitud, 20 mm d'amplada i un gruix de 5 mm.

El carbur de tungstè és un compost ceràmic conegut com cermets (de les sigles angleses *ceramic metal*). La propietat que més destaca és la elevada duresa, però també la elevada resistència tèrmica, ja que manté la seva duresa a elevades temperatures. El carbur de tungstè és molt utilitzat en aplicacions com els utensilis de tall per treballar acer i metalls.

A continuació es mostren algunes característiques generals del carbur de tungstè:

- densitat: $14,95 \text{ g/cm}^3$;
- resistència a la pressió $5.300\text{-}7.000 \text{ MPa}$;
- mòdul d'elasticitat: 600 GPa ;
- coeficient d'expansió tèrmica: $4,5\text{-}5,6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;
- conductivitat tèrmica: $60\text{-}80 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$;
- capacitat calorífica: $200\text{-}480 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$
- duresa Vickers: 1550 kgf mm^{-2} .

3.3.3.- Lubricant.

En els processos industrials de la pulvimetal·lúrgia és essencial la utilització de lubricants en els utilatges de premsat, ja sigui de manera interna (mesclat amb la pols metàl·lica) o externa (lubricar només els components del utilatge). Es recomana lubricar de manera interna, encara que externament també és factible. En la lubricació interna es fa servir entre 0,5-1,5% en pes de la pols metàl·lica.

Es poden utilitzar varis tipus de lubricants, els més recomanats són la cera d'etilen bis-estearamida i l'estearat de Zn. Un dels proveïdors d'aquests lubricants són Hebron S.A. (tlf. 935601559) i Clariant S.A. (tlf. 934798577), respectivament.

En aquest projecte, la lubricació del dispositiu de compactació es fa amb estearat de Zn i de manera externa, ja que en Dr. Javier Rodriguez del Grup de Física de Materials I, va facilitar una certa quantitat d'aquest producte. El mètode de lubricació del dispositiu

s'explica a l'apartat 4.2. En el premsat en calent, l'estearat de Zn es descompon i passa a ser cendres, ja que té un punt de fusió bastant baix respecte els assaigs.

L'estearat de Zn (figura 3.73) s'utilitza, bàsicament com a lubricant, hidrofugant, antiadherent i desmoldejant.



Figura 3.73. Estearat de Zn.

A continuació, es fan referència les característiques generals de l'estearat de Zn, que són:

- aspecte: pols blanca;
- cendres: 13,2-14,2% m/m;
- contingut metàl·lic: 10,5-11,4% m/m;
- punt de fusió: 115-120 °C;
- àcid lliure: <2,0% m/m;
- humitat: <1,0;
- densitat aparent: 0,24-0,28 g/cm³; i
- granulometria 325 Mesh: <1,0 % m/m.

3.3.4.- Llana de quars.

A l'acoblar el dispositiu al forn, queda un espai entre els mòduls del forn (apartat 4.2). Per omplir aquest espai, es fa servir la llana de quars (figura 3.74). La llana de quars té la funció de retenir la calor dins els mòduls del forn durant l'assaig.



Figura 3.74. Llana de quars.

Es disposa d'un gran requadre de llana de quars al Laboratori de Materials II de l'ETSE. Aquest requadre es pot tallar amb unes estisores per tal d'adequar la llana a la mida de l'espai entre els mòduls del forn. És necessari per cobrir aquest espai dos trossos de llana de la mateixa mida.

S'ha de tenir en compte, que després de l'assaig, la llana pot patir algun deteriorament, per tant és imprescindible, posar dos nous requadres de llana pel pròxim assaig, si és necessari.

3.3.5.- Termòmetre electrònic i termopars.

Un punt crític que s'ha de controlar durant l'assaig, és la temperatura màxima de les mordasses i de la galga de compressió que és de 177 °C. Per controlar que no es posi en perill aquests components de la MTS, s'utilitza un termòmetre electrònic (figura 3.75) durant l'assaig.



Figura 3.75. Termòmetre electrònic.

El termòmetre electrònic és de la marca *CRISON*, model *638 PT* i mesura rangs de temperatura de -199,9 a 850 °C. S'acoblen al termòmetre dos termopars de tipus K (NiCr⁺ NiAl⁻).

Durant l'assaig es prenen els valors de temperatura cada cert temps de cada un dels dos punts de mesura. Aquest punts s'especifiquen a l'apartat 4.2.

4.- METODOLOGIA D'ASSAIG.

En la metodologia de l'assaig s'explica el procés de preparació del sistema, operativitat de la MTS, l'assaig, el procés d'extracció de la mostra i el manteniment del dispositiu. El resultat de l'assaig serà l'obtenció de mostres compactades i sinteritzades. L'ús de la MTS ve marcat per un protocols de seguretat (annex F).

4.1.-Procés de preparació del sistema.

Per poder realitzar els assaigs, s'ha de seguir un procés de preparació i posada a punt del sistema. En aquest procés de preparació es realitza una sèrie d'accions per tal d'ajustar correctament els components de la MTS al dispositiu. Aquestes accions són:

-Extreure la galga de compressió del maletí 50-292-603 que es localitza al quartet annex del Laboratori de Materials II. Tot seguit enroscar el component tal com es mostra a la figura 4.1. Aquest component permet la subjecció del conjunt de la galga amb la MTS, ja que el dispositiu treballa amb aquests tipus de galga.



Figura 4.1. Enroscar el component a la galga de compressió.

-Incorporar la galga de compressió a la mordassa inferior, i moure la palanca corresponent del control de subjecció hidràulic per subjectar la galga amb la MTS. Per realitzar aquesta acció la MTS ha d'estar operativa. Amb un nivell assegurar que la galga està totalment horitzontal (figura 4.2).



Figura 4.2. Comprovació horitzontalitat de la galga de compressió.

-Regular l'altura del bastidor de la unitat de càrrega per tal d'adaptar el dispositiu, i pel procés d'extracció de la mostra. La distància màxima entre la mordassa superior i la galga de compressió és de 305 mm aproximadament. La distància màxima és la suma d'altures de les plaques de carbur de tungstè, de la base del punxó inferior, de la matriu i del punxó superior (veure plànol 5 de l'annex A). S'ha de dir, que l'altura màxima en el procés d'extracció és inferior a 305 mm (veure plànol 6 de l'annex A). Per regular l'altura del bastidor es requereixen un mínim de 2 persones i eines adequades per moure i fixar el bastidor.

-Moure el forn fins la zona d'assaig (figura 4.3), és a dir, a l'espai que hi ha entre les mordasses de la MTS i regular l'altura del forn perquè el dispositiu es pugui acoblar correctament. L'altura que ha d'haver entre la part inferior del forn i la galga de compressió és de 32 mm (altures de les plaques de carbur de tungstè, de la base del punxó inferior i del dissipador de calor inferior de la matriu). Es requereixen 2 persones i eines adequades per moure i fixar l'altura del forn a la MTS.

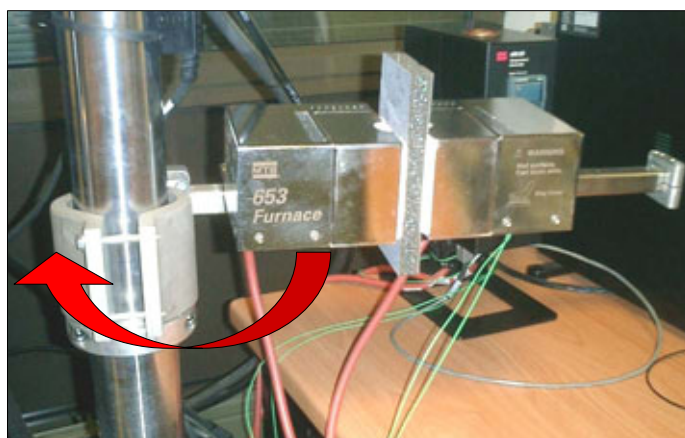


Figura 4.3. Moure el forn fins a la zona d'assaig.

4.2.-Mètode d'assaig.

El mètode d'assaig s'explica des de l'encesa i posada en operativitat la MTS, preparació del dispositiu, l'assaig de premsat en calent fins l'extracció de la mostra. Aquest mètode segueix les següents accions:

-Obrir el pas de l'aigua (paral·lela al conducte d'aigua) per tal de mantenir el sistema de refrigeració del grup hidràulic actiu (figura 4.4). Es localitza al quartet annex del laboratori, darrera el grup hidràulic.



Figura 4.4. Pas d'aigua pel sistema de refrigeració.

-Engegar el grup hidràulic (figura 4.5) i polsar el botó blau de *reset* (figura 4.6) per tal d'eliminar tots el límits.



Figura 4.5. Engegar el grup hidràulic.



Figura 4.6. Polsa el botó blau de reset.

-Encendre el PC.

-Engegar el forn i el control digital i deixar que s'estabilitzin durant uns instants. Els botons d'encesa es troben a la part posterior de cada aparell (figura 4.7).



Figura 4.7. Control digital i control de temperatura..

-Per iniciar l'operativitat de la MTS, obrir *Station Manager* fent doble clic amb el ratolí sobre la icona (figura 4.8) que hi ha a l'escriptori.



Figura 4.8. Icona Station Manager.

-Seleccionar l'arxiu *Forn_AI.cfg* en el menú *Open Station* (figura 4.9) i fer clic a *Open*.

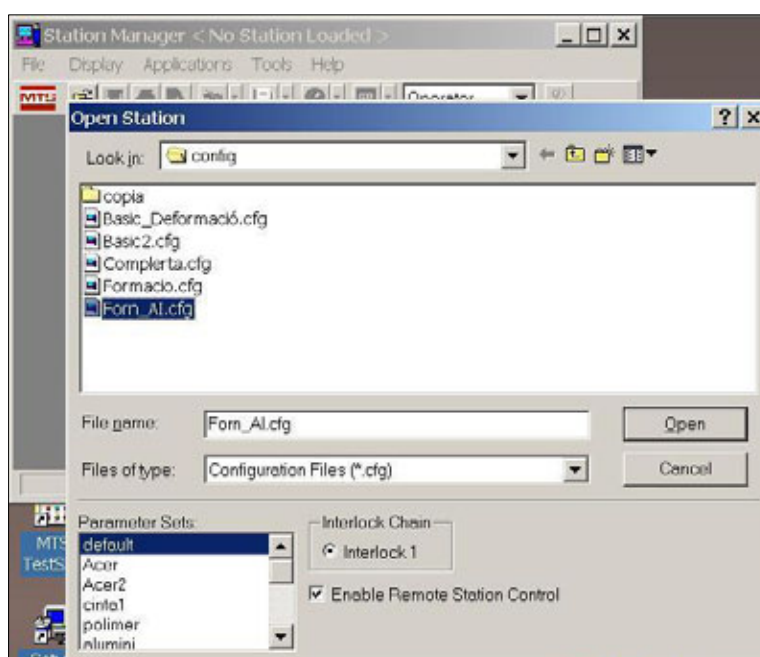


Figura 4.9. Menú Open Station.

L'arxiu *Forn_AI.cfg* és un mode de configuració que estableix nous paràmetres necessaris en el programa per tal de portar a terme els assaigs desitjats. És a dir, amb arxiu seleccionat podem controlar els paràmetres del forn i de la MTS. Cada fitxer *.cfg* estableix uns determinats paràmetres per cada tipus d'assaigs.

-Apareix la pantalla principal del *Station Manager* (figura 4.10).

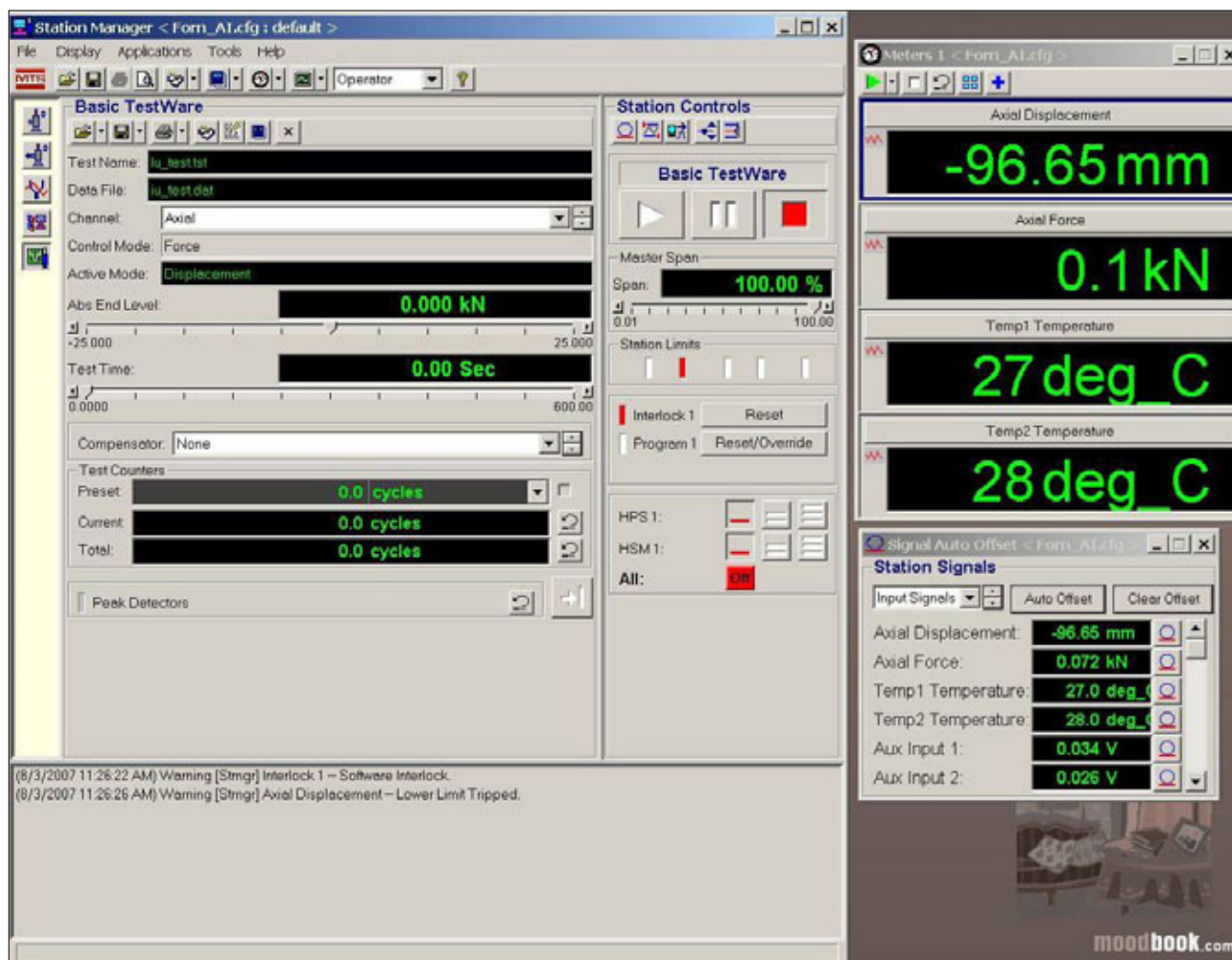


Figura 4.10. Pantalla principal del Station Manager.

En la finestra de la dreta de la pantalla principal, *Meters1*, s'indica diferents valors de paràmetres com el desplaçament axial (*Axial Displacement*), la força axial (*Axial Force*) i les temperatures de treball (*Temp1-Temp2 Temperature*) dels 2 mòduls del forn (de la pantalla principal de la figura 4.10). Es pot observar que no hi ha força axial (0,1 kN) aplicada i que el forn es troba a temperatura ambient (27-28 deg_C). A la part inferior de la pantalla principal, s'indica les accions que es realitzen en el *Station Manager*.

-El pas següent és treure el offset de lectura de la màquina. A la finestra de la dreta de la pantalla principal, *Signal Auto Offset*, fer clic sobre la icona dreta de *Axial Displacement* de la figura 4.11 (cercle vermell) per posar a zero mm la lectura de desplaçament. S'ha de tenir en compte que només es treu el offset de lectura del desplaçament, en canvi, els offsets de força i temperatura no s'han de prémer.

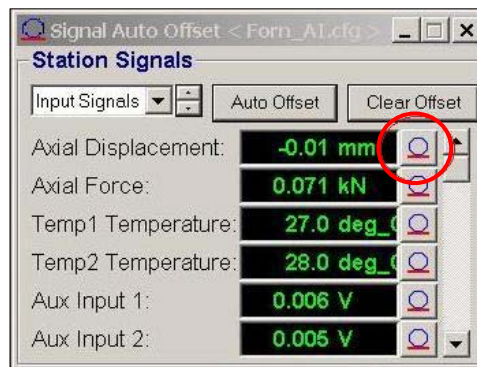


Figura 4.11. Axial Displacement a zero mm.

-Tot seguit, clicar sobre la icona de *Reset* del costat del *Interlock 1* (figura 4.12), per comprovar que no hi hagi límits de seguretat actius que impedeixen el funcionament de la màquina.

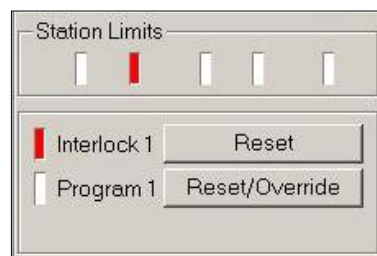


Figura 4.12. Clicar sobre la icona de *Reset*.

-Per comprovar que no hi ha cap límit de seguretat actiu, el *Station Limits* s'ha d'observar com es mostra la figura 4.13.

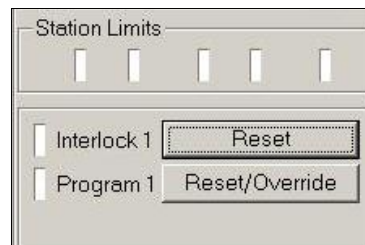


Figura 4.13. *Station Limits*.

-A continuació, es posa en funcionament el *HPS1 (Hydraulic Power Supply)* i el *HSM1 (Hydraulic Service Manifold)*, fent clic a les icones seguint estrictament l'ordre establert en la figura 4.14. Es passa a la següent icona quan la que s'ha activat deixa de fer pampallugues. Fins obtenir el resultat que es mostra a la figura 4.15, on les icones es fixes de color verd indiquen l'operativitat de la MTS.

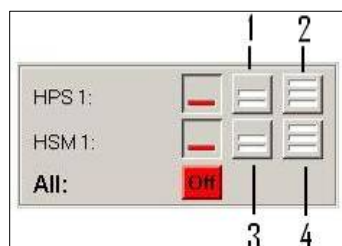


Figura 4.14. Ordre d'encesa de *HPS1* i *HSM1*.



Figura 4.15. MTS operativa.

-A continuació, en la preparació del dispositiu per l'assaig, primer posar lubricant amb abundància però sense excedir-se, a les peces del dispositiu. Amb l'ajut del punxó superior lubricat (figura 4.16), ja que té l'eix més llarg, lubricar el forat de la matriu per la part superior. Tornar a lubricar el punxó superior per lubricar la part inferior forat de la matriu.



Figura 4.16. Lubricar punxó superior.

-Lubricar el punxó inferior (figura 4.17) i deixar-lo insertat dins la matriu (figura 4.18).



Figura 4.17. Lubricar punxó inferior.



Figura 4.18. Insertar punxó inferior dins la matriu.

-Bolcar amb precaució la pols metàl·lica que es vol comprimir dins del forat de la matriu per la part superior (figura 4.19). La quantitat de pols necessària per l'assaig es pot veure en l'apartat 7.1. El laboratori disposa de bàscula electrònica (annex G) per calcular la pols per l'assaig.



Figura 4.19. Bolcar pols metàl·lica.

-Tornar lubricar el punxó superior i deixar-lo insertat dins matriu (figura 4.20), obtenint així el dispositiu muntat per l'assaig.



Figura 4.20. Lubricar i insertar el punxó superior.

ATENCIÓ: A l'hora de moure el dispositiu muntat, s'ha d'anar en compte, és a dir, s'ha d'agafar conjuntament el punxó inferior i la matriu per evitar imprevistos, ja que les peces són mòbils i la pols metàl·lica podria despendre.

-Col·locar sobre la galga inferior de compressió, les dues plaques de Carbur de Tungstè (figura 4.21).



Figura 4.21. Col·locar les plaques de carbur de tungstè.

-I sobre les plaques de Carbur de tungstè posar-hi el dispositiu i centrar-lo al màxim possible amb l'eix del pistó de la MTS (figura 4.22).



Figura 4.22. Col·locar dispositiu a la MTS.

-Amb l'estació de control remot de la MTS, pulsar el botó *enable/disable* del *Manual Control: Displacement* (figura 4.23) per controlar la màquina manualment. Quan la llumeta està activada (cercle vermell de la figura 4.23), la MTS es controla de manera manual.



Figura 4.23. Pulsar botó de enable/disable.

-Girar la rodeta (en sentit horari el pistó de la MTS puja i en sentit anti-horari baixa) de l'estació de control remot per ajustar la mordassa superior amb la part superior del punxó superior tal com es mostra a la figura 4.24.



Figura 4.24. Ajustar mordassa amb el dispositiu.

-Un cop ajustada els components anteriors, tancar la mordassa superior per subjectar el punxó superior (figura 4.25), utilitzant la palanca corresponent del control de subjecció hidràulica. Assegurar-se del centratge axial entre el dispositiu i el pistó de la unitat de càrrega.

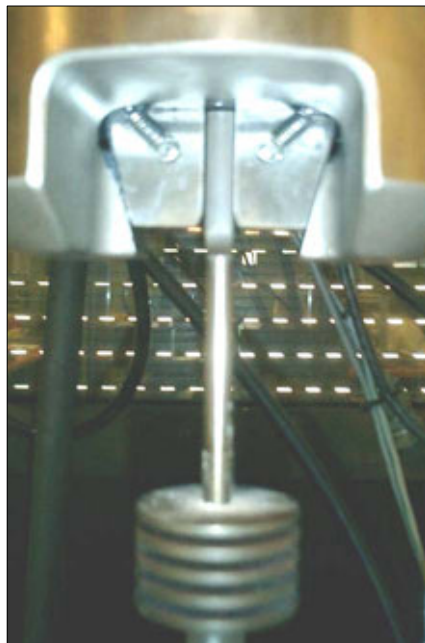


Figura 4.25. Subjectar dispositiu.

-Baixar el pistó de la MTS amb l'estació de control remot (girar en sentit anti-horari) fins a comprimir amb una força de -1KN perquè a l'aplicar la força de compressió desitjada durant l'assaig, no ho faci de sobte, ja que seria dolent per la MTS i el dispositiu.

-Pulsar de nou el botó *enable/disable* del *Manual Control: Displacement* per controlar la màquina des de el PC.

-Moure un dels mòduls del forn fins ajustar-lo al dispositiu (figura 4.26) i fixar amb els cargols de l'estructura.



Figura 4.26. Ajustar mòdul del forn.

-Incorporar llana de quars (figura 4.27 i figura 4.28) mentre s'ajusta l'altre mòdul del forn, mantenint la llana entre els 2 mòduls i que aquesta tapi tots els forats possibles que deixa el forn.



Figura 4.27. Ajustar l'altre mòdul i afegir la llana de quars.



Figura 4.28. Ajustar l'altre mòdul i afegir la llana de quars.

-Assegurar-se de que els dos mòduls del forn quedin el màxim de junts possibles (figura 4.29). Llavors fixar l'altre mòdul del forn apretant els cargols (cercles vermells de la figura 4.29).

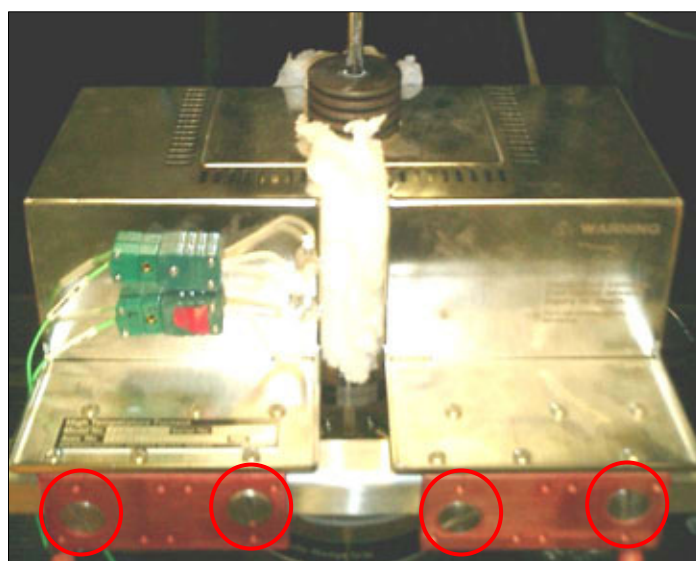


Figura 4.29. Fixar el forn.

-Posar els cables dels termopars del termòmetre electrònic (cables verds i blancs de la figura 4.30) entre el punxó superior i la mordassa, i entre el punxó inferior i les plaques de carbur de tungstè.

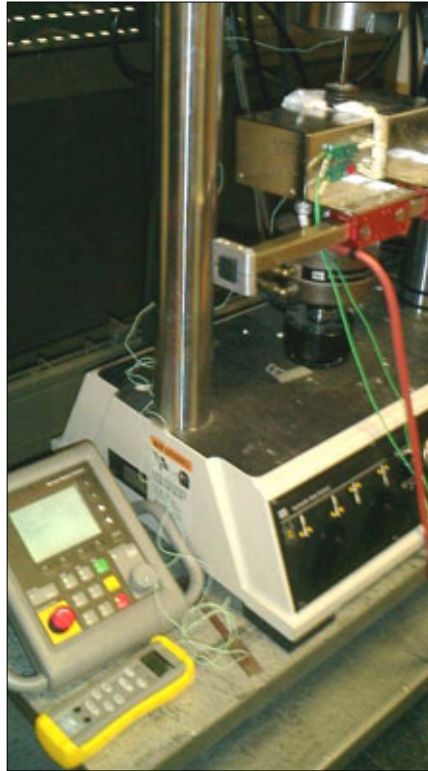


Figura 4.30. Col·locar termopars del termòmetre electrònic.

-Posar la mampara protectora a la MTS (figura 4.31).



Figura 4.31. Posar la mampara de protecció.

-Pulsar el botó verd de *enable* del control de temperatura (figura 4.32).



Figura 4.32. Pulsar el botó verd enable.

-En el PC continuar amb la programació del Station Manager i editar els paràmetres corresponents a l'assaig a realitzar (apartat 3.2.3).

-Iniciar l'assaig amb la icona triangular de la figura 4.33.



Figura 4.33. Icones d'iniciació, pausa i finalització de l'assaig.

Un cop finalitzat l'assaig s'ha de seguir uns punts per tal de poder extreure el dispositiu de la màquina d'assaigs i del forn.

-Per aturar totalment l'assaig pulsar la icona quadrada de la figura 4.33. Assegurar-se que la força aplicada es troba entre -0,5 KN i 0,5KN.

-Pulsar el botó vermell de *disable* del control de temperatura (figura 4.32).

-Extreure la mampara protectora perquè s'airegi el sistema.

-Esperar entre un 10 i 15 minuts fins que el forn estigui a una temperatura raonable (150-200 °C) per tal de poder extreure el dispositiu. Passat aquest temps, treure els termopars del termòmetre i afluixar les rosques de la fixació del forn i separar els 2 mòduls.

-Desar la llana de quars si aquesta no s'ha deteriorat molt, si és el cas, tirar-la.

-Obrir la mordassa superior amb la palanca corresponent del control de subjecció per poder extreure el dispositiu.

-Parar l'operativitat de la MTS amb el HPS1 i el HSM1 seguint l'ordre establert de la figura 4.34. Passa a la següent icona, quan la icona pulsada deixi de fer pampallugues.

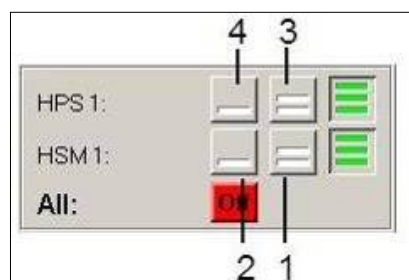


Figura 4.34. Para l'operativitat de MTS.

-Retirar el dispositiu amb els guants de seguretat (figura 4.35).



Figura 4.35. Extreure el dispositiu.

-Sense treure'ns els guants, retirar les plaques de carbur de tungstè.

-Refredar la matriu amb un corrent d'aire provinent d'un ventilador convencional durant 10 minuts aproximadament (figura 4.36).



Figura 4.36. Refredar el dispositiu amb el ventilador.

- Tanca el Station Manager, el PC, el controlador digital i el sistema hidràulic però mantenir encès el control de temperatura per controlar el refredament del forn.
- Quan el control de temperatura estigui a 40-50 °C, tancar-lo.
- I finalment tancar el pas d'aigua del sistema de refrigeració del sistema hidràulic.

4.3.-Procés d'extracció de la mostra del dispositiu

El procés d'extracció de la mostra compactada no es realitza exactament com en el procés del projecte antecessor. El procés d'extracció antic utilitzava la MTS per treure la mostra. El nou procés d'extracció segueix el mateix mètode que d'anterior però es fa de manera manual en més d'utilitzar la força de compressió de la MTS.

Per extreure la mostra, s'introdueixen els 2 punxons extractors en els forats del punxó inferior com s'observa al dibuix a) de la figura 4.37 i posteriorment s'aplica força tal com es mostra en el dibuix b).

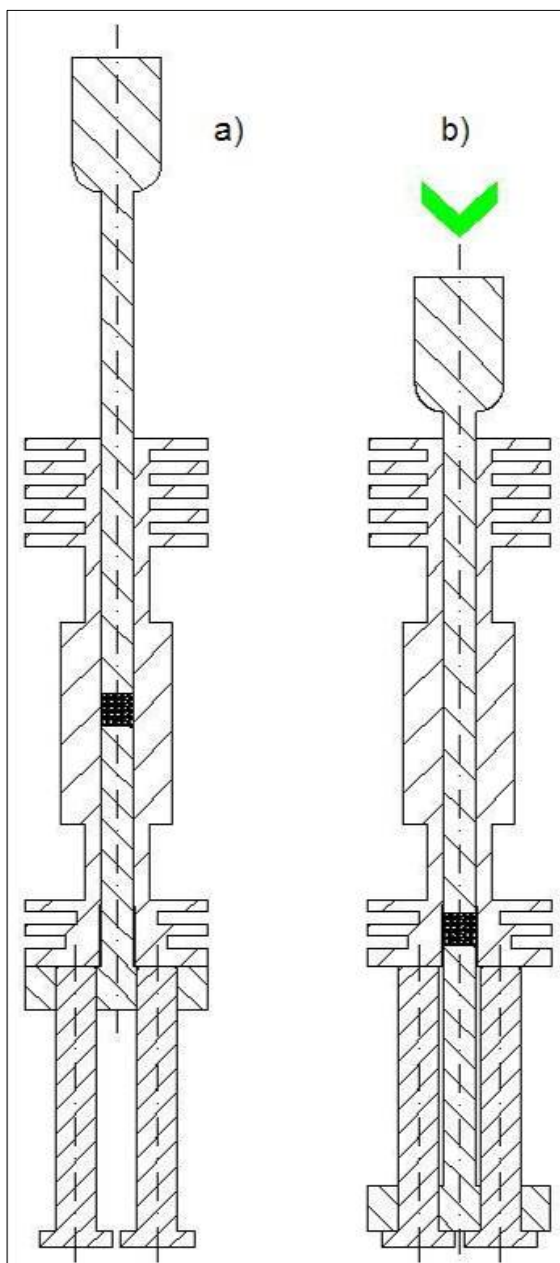


Figura 4.37. Procés d'extracció de la mostra.

Per extreure la mostra s'aplica força sobre el punxó superior, desplaçant la mostra i el punxó inferior cap avall mentre els punxons extractors aguanten la matriu.

Un cop refredat el utilitatge s'aguanta el dispositiu mentre que amb cops secs d'una maceta de nylon (figura 4.38) es treu la mostra compactada per la part inferior del dispositiu.



Figura 4.38. Extracció de la mostra.

No es fa servir el procés antic d'extracció de la mostra, ja que l'alineament dels punxons extractors amb l'eix del pistó de la unitat de càrrega era difícil. Encara que els punxons extractors estiguessin guiats pels forats del punxó inferior, el punxó superior es podia doblegar durant l'aplicació de la força. La MTS ha d'aplicar molta força per extreure la mostra del dispositiu.

4.4.-Manteniment del dispositiu

Després de cada assaig, es queda adherida pols metàl·lica a les superfícies de la matriu i dels punxons superior i inferior del dispositiu que estan en contacte amb la mostra, per tant s'han de netejar aquests components per tal extreure aquesta pols. La neteja dels components del dispositiu és molt important ja que asseguren que no hi hagi impureses com la pols adherida i la cendra del lubricant, que pugin afectar al següent assaig, i també per allargar la vida d'aquests components evitant la seva oxidació. Aquesta pols es queda adherida a les superfícies de la zona central del forat de la matriu, i a la superfície plana dels seus eixos i, amb poca quantitat, a les superfícies de l'eix dels punxons superior i inferior.

En la neteja del dispositiu s'utilitza oli lubricant i posteriorment alcohol per treure aquest lubricant (figura 4.39).



Figura 4.39. Alcohol i lubricant per la neteja.

Per tal de tenir una neteja correcta s'ha de seguir les següents accions:

-Mullar amb abundància amb lubricant el forat de la matriu i l'eix del punxó superior (figura 4.40).



Figura 4.40. Neteja de la matriu i punxó superior.

-Introduir al màxim l'eix del punxó superior pel forat de la matriu i tornar-lo a treure mentre s'afegeix més lubricant (figura 4.41). Repetir aquesta operació varis cops i també per l'altre forat de la matriu.



Figura 4.41. Neteja de la matriu i punxó superior.

-Realitzar la mateixa operació que els punts anteriors però amb utilitzant el punxó inferior (figura 4.42).



Figura 4.42. Neteja de la matriu i punxó inferior.

-Per treure la pols adherida de la superfície plana dels eixos dels punxons superiors i inferiors, passar-hi el dit durant la impregnació de lubricant fins que quedin netes.

-Un cop netes les superfícies mullar amb abundància alcohol per treure el lubricant dels components (figura 4.43).



Figura 4.43. Treure el lubricant amb l'alcohol.

-Assecar els components amb aire a pressió (figura 4.44).

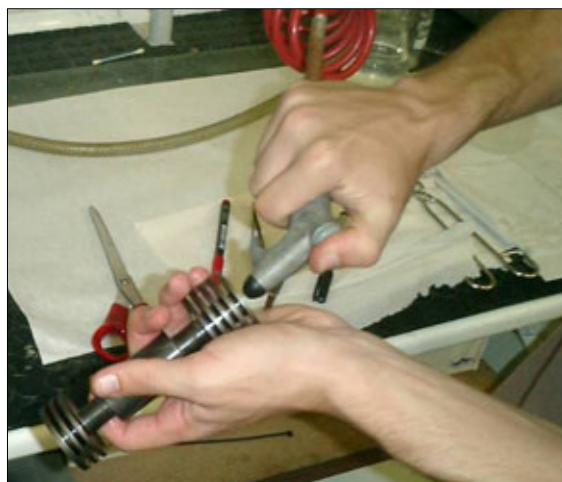


Figura 4.44. Assecar amb aire a pressió.

-Protegir els components del dispositius amb paper i guardar-los dins la caixa corresponent (figura 4.45).



Figura 4.45. Guardar el dispositiu a la caixa corresponent.

5.- PARÀMETRES I RESTRICCIONS.

Un cop realitzada la descripció del sistema i obtingudes les seves característiques i funcions d'ús, es pot definir els paràmetres i restriccions per garantir la metodologia d'assaig dels experiments.

Els paràmetres venen definits pels valors que aporten el sistema, mentre que les restriccions venen definides per les limitacions característiques de la MTS i del dispositiu.

Els paràmetres que es poden definir per l'assaig de premsat en calent tenint en compte les característiques de la MTS i el forn són:

- força axial de compressió,
- temperatura de treball, i
- rampa de temperatura de treball respecte el temps.

En canvi les restriccions corresponents per la MTS són:

- força axial màxima de 25 KN, i
- temperatura màxima de les mordasses i la galga de compressió de 177 °C.

Mentre que les restriccions del dispositiu són:

- diàmetre de 8 mm del forat de la matriu, i
- temperatura màxima.

La primera restricció del dispositiu, ve marcada amb la fórmula següent:

$$P = \frac{F}{A}$$

on P és la pressió exercida, F la força axial de compressió i A és l'àrea on es produeix la compressió.

Si es tingues un diàmetre més petit, s'obtingria major pressió entre la pols, ja que:

$$A = \pi r^2$$

on r és el radi del forat de la matriu.

Numèricament, si apliquem 20 KN de força en el diàmetre de 8 mm del forat de la matriu, s'obté la següent pressió exercida:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{20.000N}{\pi \times (4mm)^2} = 397,88MPa$$

La segona restricció del dispositiu, la temperatura màxima que pot suportar el dispositiu, ve definida pel material (VANADIS EXTRA 4) que segons la seva gràfica TTT (Temperatura-Temps-Transformació), la temperatura crítica de canvi de fase és de 815° (figura 5.1).

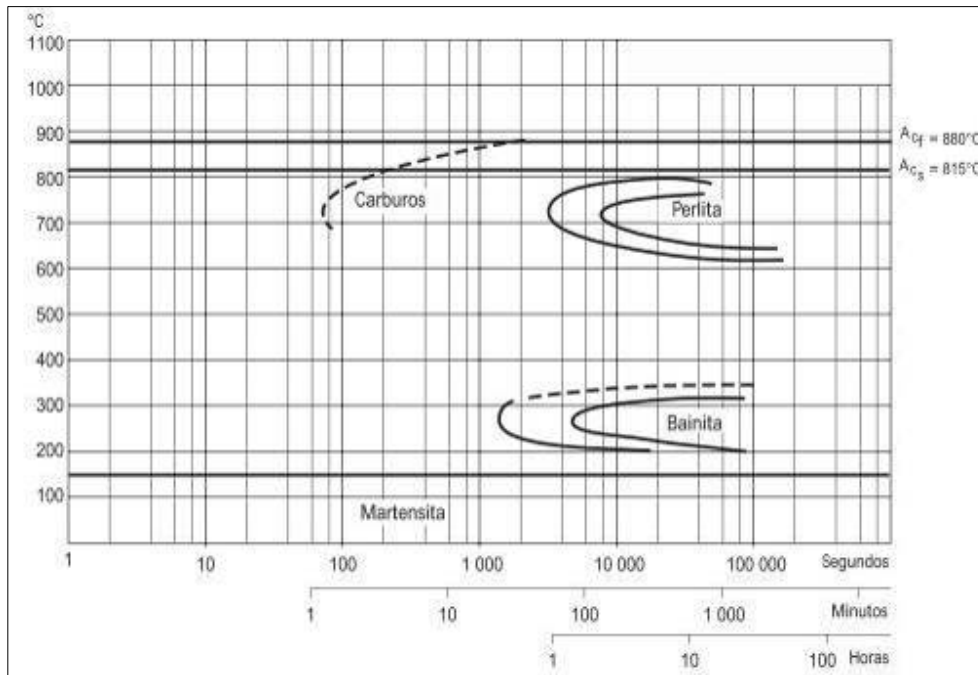


Figura 5.1. Gràfica TTT del VANADIS EXTRA 4.

No obstant, a l'escalfar tota la massa del dispositiu, es pot traçar una trajectòria per tal de verificar si durant cert temps el material pot patir algun canvi de fase. Cal tenir en compte que el temps està en escala logarítmica.

Si escalfem el dispositiu a 700 °C durant 5 minuts, ens trobarem a la regió de la gràfica TTT (figura 5.1) dels carburs, la qual cosa no interessa ja que el material canviarà la microestructura. En canvi, si l'escalfem de cop a 650 °C durant 20 minuts, el material no pateix cap canvi en la microestructura. Per tant, es defineix que la temperatura màxima que pot suportar el dispositiu és de 650 °C.

Definida la temperatura màxima, que alhora és la temperatura màxima de treball, es passa a definir el valor del paràmetre del temps de la temperatura de treball de l'assaig. És a dir, el temps de l'assaig que no posi en perill ni sobreescalfar les mordasses ni la galga de compressió (177 °C).

Per tal d'obtenir el valor del temps, s'ha realitzat una prova amb el dispositiu i el forn de manera externa a la MTS, ja que el conjunt del forn és mòbil. La prova ha consistit en escalfar el dispositiu a 650 °C mentre es prenen dades de temperatura amb el termòmetre electrònic. Les dades s'han mesurat en dos punts del dispositiu, al punxó superior i al inferior durant cert temps. El resultat de la prova es reflecteix en la següent gràfica de la figura 5.2.

La gràfica ens indica que la temperatura del punxó inferior arriba als 177 °C als 19,5 minuts i que el punxó superior als 20 minuts no sobrepassa la temperatura crítica. Els valors de temperatures dels punxons i del forn, i del temps de la prova realitzada es troben a les taules de l'annex H. Per tant, i sabent que el premsat en calent fa disminuir el temps de la treball [1], el temps d'assaig a la temperatura de treball es defineix a 10 minuts.

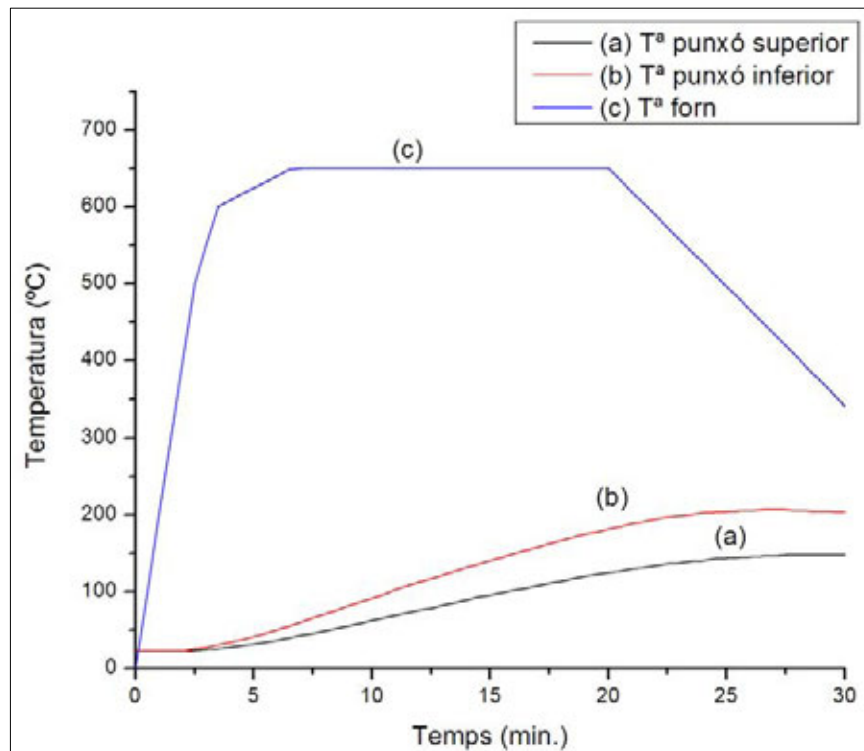


Figura 5.2. Gràfica de la prova.

6.- SELECCIÓ DE LA POLS METÀL·LICA.

En el sector de la pulvimetal·lúrgia, la gran majoria de metalls purs i aliatges metàl·lics es poden processar en forma de pols. No obstant, la majoria de la pols metàl·lica no són aptes pel procés de premsat en calent del dispositiu a optimitzar.

Establerts els paràmetres i les restriccions del sistema es pot realitzar la selecció de la pols metàl·lica per l'assaig. El paràmetre i les restriccions que intervenen en la selecció de materials són:

- la temperatura màxima de treball de 650°C,
- el mòdul de Young i la duresa del material del dispositiu de $20,6 \times 10^4$ MPa, i de 62 HRC, respectivament.

Per tant la pols seleccionada ha de tenir un punt de fusió igual o inferior a la temperatura màxima de treball. Tot i que la temperatura de sinterització és entre un 0,8-0,9 de la temperatura de fusió de la pols, per tant augmenta les possibilitats a l'hora de seleccionar un metall gràcies aquest nou paràmetre.

El material del dispositiu és molt dur i resistent, encara que no s'ha de passar per alt aquestes característiques, ja que si la pols és més dura i resistent que el dispositiu, el dispositiu podria sofrir danys.

Existeixen una gran nombre de metalls però no són aptes per l'assaig, ja sigui per l'elevat punt de fusió o per la seva rigidesa (Ti, Cu, Ni, W, Co, Fe). Altres metalls que si compleixen aquests paràmetres i restriccions, tampoc són aptes ja que no són habitualment utilitzats per la indústria per la seva baixa rigidesa (Pb, Sn). Cal dir, que encara que compleixen les especificacions establerts, no s'utilitzen ja que hi ha altres metalls que si les compleixen i han estat de més eficàcia a l'hora de l'optimització.

Segons els punts de fusió i el mòdul de Young obtenim la següent taula (figura 6.1) amb els metalls aptes pel dispositiu de premsat en calent.

Metall	Punt de fusió (°C)	Mòdul de Young ($\times 10^4$ Mpa)
Alumini	658	6,9
Magnesi	656	4,5
Zinc	420	8,2

Figura 6.1. Propietats metalls.

El zinc és un dels metalls seleccionats, ja que és l'únic que el seu punt de fusió és inferior a la temperatura de treball del dispositiu. No obstant, al treballar amb aquest tipus de processat, també podem seleccionar l'alumini i el magnesi perquè la seva temperatura de sinterització és menor que la temperatura màxima de treball. Tot i així, cal saber que el magnesi és molt reactiu i s'oxida fàcilment amb contacte amb l'aire, per tant aquest metall es descarta pels assaigs.

Finalment el metalls seleccionats per realitzar els assaigs per obtenir l'optimització són l'alumini i el zinc. No obstant també, amb una proporció molt més reduïda, també s'utilitza coure, ja que segons l'article [2], ajuda a accelerar el procés de sinterització.

La pols del metall seleccionat es troba al mercat amb envasos de l'empresa productora de pols metàl·lica ALFA AESAR. Les propietats físiques i característiques de la

pols seleccionada ja estan especificades, com també la grandària de la partícula metàl·lica i la seva forma. ALFA AESAR disposa de molts tipus de pols metàl·lica amb forma i grandària de partícula diferents, és a dir, la pols d'un mateix metall el podem trobar grandàries de partícula de diferents mides. S'ha de tenir en compte a l'hora del processat que la grandària de partícula no ha de ser superior a 210 μm .

La grandària de partícula d'aquesta casa de pols metàl·lica està en unitats de mesh, és a dir, el producte del número de forats per la polzada al quadrat. En la següent taula s'indica les conversions entre el mesh i el sistema mètric.

Grandària del Mesh	Grandària aproximada en μm	Grandària aproximada en mm
4	4760	4,76
6	3360	3,36
8	2380	2,38
12	1680	1,68
16	1190	1,19
20	840	0,84
30	590	0,59
40	420	0,42
50	297	0,29
60	250	0,25
70	210	0,21
80	177	0,17
100	149	0,14
140	105	0,10
200	74	0,07
230	62	0,06
270	53	0,05
325	44	0,04
400	37	0,03
625	20	0,02
1250	10	0,01
2500	5	0,005

Figura 6.2. Taula mesh de conversions.

En la taula mesh de conversions s'observa que un valor gran del mesh, té un valor petit de grandària de partícula en el sistema mètric. Els valors d'aquesta taula s'han extret del catàleg dels productes d'ALFA AESAR.

6.1.-Zinc.

El zinc és un metall brillant i de color blanc blavós amb una bona conductivitat elèctrica. El mineral de zinc era utilitzat per fer collarets en temps antics, però el metall de zinc no es va començar a produir fins el segle XIII. 500 anys després, l'element va ser redescobert a Europa. El zinc és fràgil a temperatura ambient, però és mal·leable a temperatures entre 100 i 150 °C. El zinc és usat predominantment com a aliatge amb altres metalls.

Les propietats del zinc especificades per ALFA AESAR són les següents:

- punt de fusió: 419,5 °C;
- punt d'ebullició: 907 °C;
- densitat a 25 °C: 7,14 g/cm³;
- conductivitat tèrmica: 0,27 cal/cm²/cm/s/°C;
- calor específica a 25 °C: 0,0915 cal/g °C;
- radi covalent: 1,25 Å;
- duresa Mohs a 20 °C: 2,5;
- coeficient lineal d'expansió: 30,2x10⁻⁶ K⁻¹;
- resistivitat elèctrica a 20 °C: 5,92 μΩ cm;
- estructura cristal·lina: hexagonal.

La pols de zinc seleccionada és de l'envàs 00424 d'ALFA AESAR (figura 6.3), i té una puresa de 99,9% en règim metàl·lic. La pols té una grandària de partícula de -100 mesh, és a dir, inferior a 149 μm. Ja que el signe negatiu de 100 mesh significa que, en el producte, no hi ha cap partícula superior a aquesta mida. El preu per l'envàs d'1 Kg de pols de Zn és de 66,00 €.

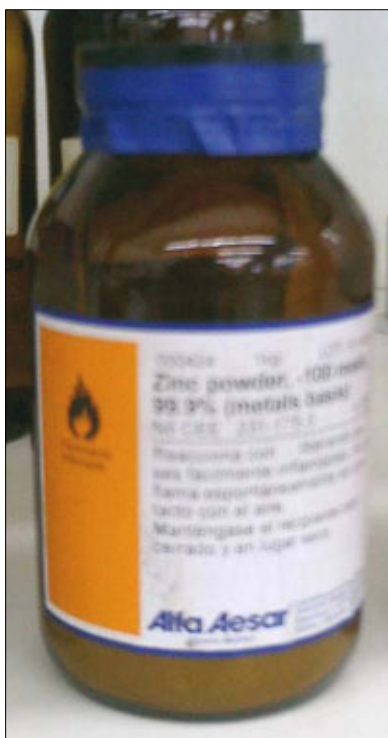


Figura 6.3. Envàs 00424 d'1 Kg de pols de zinc.

6.2.-Alumini.

L'alumini pur és lleuger, no tòxic i no magnètic. És fàcilment conformat, mecanitzat o colat. Aquest metall de color blanc platejat té una alta conductivitat tèrmica i una excel·lent resistència a la corrosió. L'alumini és el metall més abundant en l'escorça terrestre. Dins el rang de graduació dels metalls, l'alumini és el segon més mal-leable i el sisè amb més ductilitat.

Les propietats del zinc especificades per ALFA AESAR són les següents:

- punt de fusió: 660,4 °C;
- punt d'ebullició: 2.519 °C;
- densitat a 25 °C: 2,70 g/cm³;
- conductivitat tèrmica a 20 °C: 0,53 cal/cm²/cm/s/°C;
- calor específica a 25 °C: 0,215 cal/g °C;
- radi covalent: 1,18 Å;
- duresa Mohs a 20 °C: 2-2,9;
- coeficient lineal d'expansió: 22,4x10⁻⁶ K⁻¹;
- resistivitat elèctrica a 20 °C: 2,67 μΩ cm;
- estructura cristal·lina: FCC (cúbica centrada a les cares).

La pols d'alumini seleccionada és de l'envàs 11067 d'ALFA AESAR (figura 6.4), i té una puresa de 99,5% en règim metàl·lic. La pols té una grandària de partícula de -325 mesh, és a dir, inferior a 44 μm. El preu per l'envàs de 250g de pols d'Al és de 30,60 €.

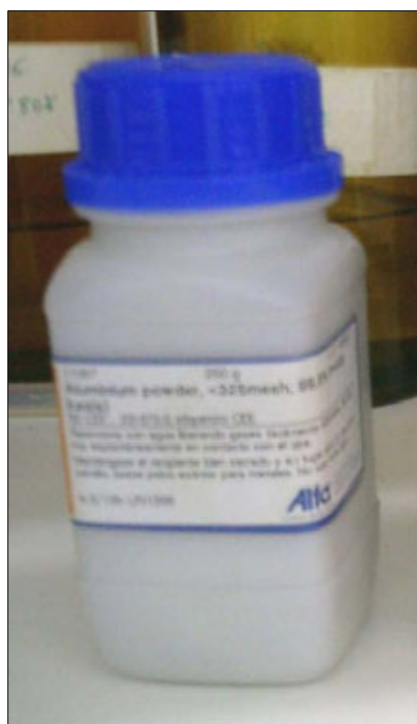


Figura 6.4. Envàs 11067 de 250 g de pols d'alumini.

6.3.-Coure.

El coure és un metall rogenc, brillant, dútil i mal-leable. És el segon metall després de la plata en conductivitat elèctrica i a més és un bon conductor de la calor. El coure és un dels primers metalls coneguts i es creu que es va començar a extreure fa uns 5.000 anys.

Les propietats del coure especificades per ALFA AESAR són les següents:

- punt de fusió: 1.083 °C;
- punt d'ebullició: 2.562 °C;
- densitat: 8,94 g/cm³;
- conductivitat tèrmica: 0,941 cal/cm²/cm/s/°C;
- calor específica a 20 °C: 0,091 cal/g °C;
- radi covalent: 1,17 Å;
- duresa Mohs a 20 °C: 3,0;
- coeficient lineal d'expansió a 20 °C: 16,42x10⁻⁶ K⁻¹;
- resistivitat elèctrica a 20 °C: 1,673 μΩ cm;
- estructura cristal·lina: FCC (cúbica centrada a les cares).

La pols de coure seleccionada és de l'envàs 11070 d'ALFA AESAR (figura 6.5), i té una puresa de 99,5% en règim metàl·lic. La forma de la partícula és esfèrica. La pols té una grandària de partícula de -100 mesh, és a dir, inferior a 149 μm. El preu per l'envàs d'1 Kg de pols de Cu és de 81,60 €



Figura 6.5. Envàs 11070 d'1 kg de pols de coure.

7.- MÈTODE EXPERIMENTAL.

Seleccionada la pols metàl·lica i, conegut la metodologia d'assaig i els seus paràmetres, es passa a realitzar els experiments. Els resultat d'aquests experiments ajuden a confirmar els valors dels paràmetres en l'optimització del dispositiu, com així si la pols metàl·lica seleccionada és l'adequada.

En aquesta experimentació, es realitzen 6 assaigs de premsat en calent, utilitzant 3 tipus d'aliatges entre els metalls seleccionats en l'apartat 6. Cada assaig, segons les especificacions de la pols metàl·lica, s'utilitzen uns paràmetres diferents en cada assaig com es veurà en l'apartat 7.2.

7.1.-Càlcul de masses dels aliatges.

Els aliatges que s'utilitzen per cada un dels 6 assaigs, són:

- assaig 1, assaig 2 i assaig 3 → aliatge 1 → Zn - 22% Al en pes (2% Cu en pes del pes total),
- assaig 4 i assaig 5 → aliatge 2 → Al -10% Zn en pes (4% Cu en pes del pes total), i
- assaig 6 → aliatge 3 → Al - 4% Cu en pes.

Assaig	Aliatge	Composició aliatge
Assaig 1	Aliatge 1	Zn - 22% Al en pes (2% Cu en pes del pes total)
Assaig 2		
Assaig 3		
Assaig 4	Aliatge 2	Al -10% Zn en pes (4% Cu en pes del pes total)
Assaig 5		
Assaig 6	Aliatge 3	Al - 4% Cu en pes

L'aliatge 1 és extret del l'article [2], l'aliatge 2 és de la nostra menció, i l'aliatge 3 és la composició del duralumini però sense Mg.

El resultat de la compressió segons la forma del dispositiu és un cilindre de la pols compactada. Per tant s'ha calculat la massa de cada un dels elements dels aliatges per que la mostra de l'assaig tingui una altura de 8 mm. Per calcular el volum de la mostra utilitzem la següent fórmula:

$$V = \pi r^2 \times h$$

on V és el volum de la mostra, r el radi i h l'altura. Si el diàmetre del forat de la matriu és 8 mm, per tant tenim un volum de:

$$V = \pi 4^2 \times 8 = 402,123 \text{ mm}^3 = 0,402 \text{ cm}^3$$

La densitat dels elements que s'utilitzen els tots els aliatges són:

$$\begin{aligned}\rho_{Zn} &= 7,14 \frac{g}{cm^3} \\ \rho_{Al} &= 2,7 \frac{g}{cm^3} \\ \rho_{Cu} &= 8,96 \frac{g}{cm^3}\end{aligned}$$

Un cop es té el volum de la mostra i les densitats dels elements dels aliatges, es realitza els càlculs es per saber quina massa ocupa cada un dels elements a la mostra dels aliatges.

-En l'aliatge 1, Zn - 22% Al en pes (2% Cu en pes del pes total), el percentatge en pes de cada element és:

$$\begin{aligned}Zn &\rightarrow 78\% \text{ en pes} \\ Al &\rightarrow 22\% \text{ en pes} \\ Cu &\rightarrow 2\% \text{ en pes del pes total}\end{aligned}$$

Perquè els valors dels percentatges siguin sobre el 100%, s'ha de multiplicar 0,98 als percentatges de Zn i Al. El valor de 0,98 ve donat al 2% de Cu en pes del pes total dins de l'aliatge 1. Per tant obtindrem els següents percentatges nous de Zn i Al:

$$\begin{aligned}Zn &\rightarrow 78\% \text{ en pes} \times 0,98 = 76,44\% \text{ en pes} \\ Al &\rightarrow 22\% \text{ en pes} \times 0,98 = 21,56\% \text{ en pes}\end{aligned}$$

Els càlculs per obtenir el volum sobre 100 g del % en pes, i coneixen la densitat de cada un dels elements de l'aliatge 1 són:

$$\begin{aligned}x &= 76,44 g \text{ de Zn } \frac{cm^3}{7,14 g} = 10,70 cm^3 \\ y &= 21,56 g \text{ de Al } \frac{cm^3}{2,7 g} = 7,98 cm^3 \\ z &= 2 g \text{ de Cu } \frac{cm^3}{8,96 g} = 0,22 cm^3\end{aligned}$$

La suma dels volums sobre 100gr és:

$$x + y + z = 10,70 + 7,98 + 0,22 = 18,9 \text{ cm}^3$$

Per obtenir la fracció de volum del volum total de la mostra, es calcula de la següent forma:

$$\begin{aligned} \text{Zn} &\rightarrow \frac{x}{x + y + z} = \frac{10,70}{18,9} = 0,566 \Rightarrow 56,6\% \text{ del volum total} \\ \text{Al} &\rightarrow \frac{y}{x + y + z} = \frac{7,98}{18,9} = 0,422 \Rightarrow 42,2\% \text{ del volum total} \\ \text{Cu} &\rightarrow \frac{z}{x + y + z} = \frac{0,22}{18,9} = 0,011 \Rightarrow 1,1\% \text{ del volum total} \end{aligned}$$

Amb la fracció de volum i el volum de la mostra, s'obté el volum de l'element que hi ha la mostra, que es calcula:

$$\begin{aligned} V_{\text{Zn}} &= V_{\text{Mostra}} \times \text{Fracció de volum}_{\text{Zn}} = 0,402 \times 0,566 = 0,22753 \text{ cm}^3 \text{ de Zn} \\ V_{\text{Al}} &= V_{\text{Mostra}} \times \text{Fracció de volum}_{\text{Al}} = 0,402 \times 0,422 = 0,16964 \text{ cm}^3 \text{ de Al} \\ V_{\text{Cu}} &= V_{\text{Mostra}} \times \text{Fracció de volum}_{\text{Cu}} = 0,402 \times 0,011 = 0,00442 \text{ cm}^3 \text{ de Cu} \end{aligned}$$

I finalment amb el volum de l'element que hi ha la mostra i la densitat de cada element, es pot saber la massa de cada element en la mostra:

$$\begin{aligned} m_{\text{Zn}} &= \rho_{\text{Zn}} \times V_{\text{Zn}} = 7,14 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,22753 \text{ cm}^3 = 1,624 \text{ g de Zn} \\ m_{\text{Al}} &= \rho_{\text{Al}} \times V_{\text{Al}} = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,16964 \text{ cm}^3 = 0,458 \text{ g de Al} \\ m_{\text{Cu}} &= \rho_{\text{Cu}} \times V_{\text{Cu}} = 8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,00442 \text{ cm}^3 = 0,039 \text{ g de Cu} \end{aligned}$$

La massa total de la mostra de l'aliatge 1 és:

$$m_{\text{total}} = m_{\text{Zn}} + m_{\text{Al}} + m_{\text{Cu}} = 1,624 + 0,458 + 0,039 = 2,121 \text{ g}$$

-En l'aliatge 2, Al - 10% Zn en pes (4% Cu en pes del pes total), el seu percentatge en pes de cada element és:

$$\begin{aligned} \text{Al} &\rightarrow 90\% \text{ en pes} \\ \text{Zn} &\rightarrow 10\% \text{ en pes} \\ \text{Cu} &\rightarrow 4\% \text{ en pes del pes total} \end{aligned}$$

Perquè els valors dels percentatges siguin sobre el 100%, s'ha de multiplicar 0,96 als percentatges de Zn i Al. El valor de 0,96 ve donat al 4% de Cu en pes del pes total dins de l'aliatge 1. Per tant obtindrem els següents percentatges nous de Zn i Al:

$$\begin{aligned} \text{Al} &\rightarrow 90\% \text{ en pes} \times 0,96 = 86,4\% \text{ en pes} \\ \text{Zn} &\rightarrow 10\% \text{ en pes} \times 0,96 = 9,6\% \text{ en pes} \end{aligned}$$

Els càlculs per obtenir el volum sobre 100g del % en pes, i sabent la densitat de cada un dels elements de l'aliatge 1 són:

$$\begin{aligned} x &= 86,4 \text{ g de Al} \frac{\text{cm}^3}{2,7 \text{ g}} = 32 \text{ cm}^3 \\ y &= 9,6 \text{ g de Zn} \frac{\text{cm}^3}{7,14 \text{ g}} = 1,34 \text{ cm}^3 \\ z &= 4 \text{ g de Cu} \frac{\text{cm}^3}{8,96 \text{ g}} = 0,45 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

La suma dels volums sobre 100gr és:

$$x + y + z = 32 + 1,34 + 0,45 = 33,79 \text{ cm}^3$$

Per obtenir la fracció de volum del volum total de la mostra, es calcula de la següent forma:

$$\begin{aligned} \text{Al} &\rightarrow \frac{x}{x + y + z} = \frac{32}{33,79} = 0,947 \Rightarrow 94,7\% \text{ del volum total} \\ \text{Zn} &\rightarrow \frac{y}{x + y + z} = \frac{1,34}{33,79} = 0,0396 \Rightarrow 3,96\% \text{ del volum total} \\ \text{Cu} &\rightarrow \frac{z}{x + y + z} = \frac{0,45}{33,79} = 0,0133 \Rightarrow 1,33\% \text{ del volum total} \end{aligned}$$

Amb la fracció de volum i el volum de la mostra, s'obté el volum de l'element que hi ha la mostra, que es calcula:

$$\begin{aligned} V_{\text{Al}} &= V_{\text{Mostra}} \times \text{Fracció de volum}_{\text{Al}} = 0,402 \times 0,947 = 0,3807 \text{ cm}^3 \text{ de Al} \\ V_{\text{Zn}} &= V_{\text{Mostra}} \times \text{Fracció de volum}_{\text{Zn}} = 0,402 \times 0,0396 = 0,0159 \text{ cm}^3 \text{ de Zn} \\ V_{\text{Cu}} &= V_{\text{Mostra}} \times \text{Fracció de volum}_{\text{Cu}} = 0,402 \times 0,0133 = 0,0053 \text{ cm}^3 \text{ de Cu} \end{aligned}$$

I finalment amb el volum de l'element que hi ha la mostra i la densitat de cada element, es pot saber la massa de cada element en la mostra:

$$\begin{aligned}
 m_{Al} &= \rho_{Al} \times V_{Al} = 2,7 \frac{g}{cm^3} \times 0,3807 cm^3 = 1,028 g \text{ de Al} \\
 m_{Zn} &= \rho_{Zn} \times V_{Zn} = 7,14 \frac{g}{cm^3} \times 0,0159 cm^3 = 0,113 g \text{ de Zn} \\
 m_{Cu} &= \rho_{Cu} \times V_{Cu} = 8,96 \frac{g}{cm^3} \times 0,0053 cm^3 = 0,047 g \text{ de Cu}
 \end{aligned}$$

La massa total de la mostra de l'aliatge 2 és:

$$m_{total} = m_{Al} + m_{Zn} + m_{Cu} = 1,028 + 0,113 + 0,047 = 1,188 g$$

-En l'aliatge 3, Al - 4% Cu en pes, el seu percentatge en pes de cada element en la mostra és:

$$\begin{aligned}
 Al &\rightarrow 96\% \text{ en pes} \\
 Cu &\rightarrow 4\% \text{ en pes}
 \end{aligned}$$

Els càlculs per obtenir el volum sobre 100g del % en pes i saben la densitat de cada un dels elements de l'aliatge 1 són:

$$\begin{aligned}
 x &= 96 g \text{ de Al } \frac{cm^3}{2,7 gr} = 35,56 cm^3 \\
 y &= 4 g \text{ de Cu } \frac{cm^3}{8,96 gr} = 0,45 cm^3
 \end{aligned}$$

La suma dels volums sobre 100gr és:

$$x + y = 35,56 + 0,45 = 36,01 cm^3$$

Per obtenir la fracció de volum del volum total de la mostra, es calcula de la següent forma:

$$\begin{aligned}
 Al &\rightarrow \frac{x}{x+y} = \frac{35,56}{36,01} = 0,9875 \Rightarrow 98,75\% \text{ del volum total} \\
 Cu &\rightarrow \frac{x}{x+y} = \frac{0,45}{36,01} = 0,0125 \Rightarrow 1,25\% \text{ del volum total}
 \end{aligned}$$

Amb la fracció de volum i el volum de la mostra, s'obté el volum de l'element que hi ha la mostra, que es calcula:

$$V_{Al} = V_{Mostra} \times \text{Fracció de volum}_{Al} = 0,402 \times 0,9875 = 0,397 \text{ cm}^3 \text{ de Al}$$

$$V_{Cu} = V_{Mostra} \times \text{Fracció de volum}_{Cu} = 0,402 \times 0,0125 = 0,005 \text{ cm}^3 \text{ de Cu}$$

I finalment amb el volum de l'element que hi ha la mostra i la densitat de cada element, es pot saber la massa de cada element en la mostra:

$$m_{Al} = \rho_{Al} \times V_{Al} = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,397 \text{ cm}^3 = 1,0719 \text{ g de Al}$$

$$m_{Cu} = \rho_{Cu} \times V_{Cu} = 8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,005 \text{ cm}^3 = 0,0448 \text{ g de Cu}$$

La massa total de la mostra de l'aliatge 3 és:

$$m_{total} = m_{Al} + m_{Cu} = 1,0719 + 0,0448 = 1,1167 \text{ g}$$

Per tant les masses de la pols dels aliatges que s'utilitzen en les mostres dels assaigs són:

$$m_{Aliatge1} = 2,121 \text{ g}$$

$$m_{Aliatge2} = 1,188 \text{ g}$$

$$m_{Aliatge3} = 1,1167 \text{ g}$$

Per realitzar els assaigs, s'ha multiplicat per 10 les masses dels elements dels aliatges, ja que a l'hora de pesar la massa calculada per l'assaig sigui més senzill manipular la pols per la mostra. S'ha utilitzat una bàscula electrònica de precisió (annex G) localitzada al departament de Física de Materials per obtenir les masses finals dels aliatges. Finalment les masses finals dels aliatges són:

Aliatge	10 x massa de Zn (g)	10 x massa de Al (g)	10 x massa de Cu (g)	Massa total (g)
1	16,24	4,58	0,39	21,21
2	1,14	10,28	0,46	11,88
3	-	10,719	0,448	11,167

Obtinguda la massa final dels aliatges, s'introdueix la pols de cada aliatge dins de 3 pots d'assaig diferents. Per tal de que els elements de l'aliatge estiguin uniformement repartits en la seu volum, s'utilitza una agitadora (annex G) durant 10 minuts.

7.2.-Paràmetres dels assaigs.

S'han realitzat 6 assaigs en total, 3 per l'aliatge 1, 2 per l'aliatge 2, i 1 per l'aliatge 3. Segons les característiques dels assaigs s'han utilitzat diferents valors dels paràmetres per cada assaig. Aquests paràmetres d'assaig són:

- força de compressió,
- temperatura de treball,
- rampa de temps i temperatura, i
- temps de temperatura de treball.

Els valors dels paràmetres com la força de compressió, la rampa de temps i temperatura, i el temps de temperatura de treball, no s'han de calcular, ja que, en general, han estat establerts. En canvi, el valor de la temperatura de treball de cada aliatge, si que s'ha de calcular.

La temperatura de treball va estrictament lligada a la temperatura de sinterització del metall base de l'aliatge. Encara que els valors d'aquest paràmetre pugui variar entre els assaigs d'un mateix aliatge, els valors estan al voltant de la temperatura de sinterització del metall base. Les temperatures de sinterització són entre 0,8-0,9 la temperatura de fusió del metall. Per tant, s'obté les següents temperatures de sinterització calculades:

-pel zinc:

$$T^a \text{ de fusió}_{Zn} = 419,5^\circ C \rightarrow T^a \text{ de sinterització}_{Zn} = 0,8 \times 419,5 = 335,6^\circ C$$

$$T^a \text{ de fusió}_{Zn} = 419,5^\circ C \rightarrow T^a \text{ de sinterització}_{Zn} = 0,9 \times 419,5 = 377,55^\circ C$$

-i per l'alumini:

$$T^a \text{ de fusió}_{Al} = 660,4^\circ C \rightarrow T^a \text{ de sinterització}_{Al} = 0,8 \times 660,4 = 528,32^\circ C$$

$$T^a \text{ de fusió}_{Al} = 660,4^\circ C \rightarrow T^a \text{ de sinterització}_{Al} = 0,9 \times 660,4 = 594,36^\circ C$$

En la següent taula es mostren els valors dels paràmetres i dels límits que s'utilitzen per cada un dels 6 assaigs.

Aliatge	Assaig	Força de compressió (KN)	T ^a de treball (°C)	Temps rampa de T ^a (min)	Temps T ^a de treball (min)
1	1	-15	355	10	10
	2	-20	360	20	10
	3	-20	370	20	10
2	4	-20	520	20	10
	5	-20	415	20	10
3	6	-20	600	20	10

Els valors d'aquests paràmetres s'han programat, com s'ha comentat amb

anterioritat, en l'aplicació *MPT* del programa *Station Manager* en la realització dels assaigs.

En tots 6 assaigs, existeixen dos paràmetres fixos editats al *Station Manager*, aquests són, primer, el temps de la rampa d'aplicació de la força de compressió que té un valor de 30 segons, és a dir, s'aplica la càrrega màxima amb aquest període de temps; i el segon paràmetre és el límit de la força de compressió, amb un valor de -15,100 KN per l'assaig 1 i -20,100 KN per la resta dels assaigs.

Uns altres valors de paràmetres que s'han editat en els assaigs, són els límits de la temperatura de treball. Els valors d'aquests límits són d'una unitat inferior a la temperatura de treball de cada un de tots els assaigs. Els límits utilitzats es poden observar a la següent taula.

Assaig	Límit de la T ^a de treball
1	354
2	359
3	369
4	519
5	414
6	599

8.- RESULTATS.

Finalitzats els assaigs s'obtenen mostres amb forma cilíndrica amb una altura de $8 \pm 0,1$ mm, tal com es preveia en els càlculs anteriors, i 8 mm de diàmetre (figura 8.1). En total, s'han obtingut 6 mostres dels diferents assaigs tal com es mostra a la taula 8.2.

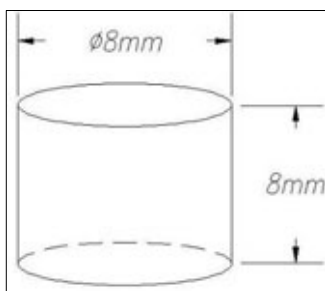


Figura 8.1. Dimensions mostra obtinguda.

Aliatge	Assaig	Mostra	Observacions
1 (Zn – 22% Al en pes (2%Cu en pes total))	1	Mostra1	
	2	Mostra2	Esquerda transversal a la força. Possiblement desplaçament del punxó superior en la finalització de l'assaig.
	3	Mostra3	Encesa de forn retardada.
2 (Al – 10% Zn en pes (2%Cu en pes total))	4	Mostra4	
	5	Mostra5	
3 (Al – 4%Cu)	6	Mostra6	

Taula 8.2. Mostres obtingudes

8.1.- Temperatura mordasses.

Un aspecte important, és la temperatura que suporten les mordasses durant els assaigs. Amb els termopars del termòmetre electrònic i un cronòmetre es té controlat en tot moment la temperatura dels punts crítics de la MTS. Els punts d'obtenció d'aquesta temperatura es pot veure en l'apart 4.2. En l'annex H es mostren les taules de valors de les temperatures amb el temps dels assaigs 2, 3, 4 i 6, obtingudes de forma manual.

A continuació es mostra la gràfica del control de temperatura de les mordasses de l'assaig 2 (aliatge 1, força -20 kN, T^a de treball 360°C , temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts) i de l'assaig 3 (aliatge 1, força -20 kN, T^a de treball 370°C , temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts), figura 8.3 i 8.4 respectivament.

Les gràfiques mostren que la temperatura dels punxons no sobrepassa la temperatura màxima de 177°C de les mordasses. En l'assaig 2 (figura 8.3) els valors màxims del punxó superior i inferior són 33 i 47°C respectivament, i en l'assaig 3 (figura 8.4), 32 i 54°C respectivament. Per tant en aquests assaigs, en les seves temperatures de treball, no han posat en perill les mordasses. És lògic que la temperatura del punxó inferior sigui superior que la del punxó superior ja que hi ha més superfície en contacte amb la mordassa.

A la gràfica de la figura 8.3 s'observa que la temperatura de treball (360°C)

concorda amb el temps de la rampa de temperatura de 20 minuts establert al Station Manager per l'assaig 2. Assolida la temperatura de treball, el sistema aplica la força de compressió de -20 KN. Passat els 10 minuts programats la temperatura de treball comença a disminuir i la força es deixa d'aplicar.

A la gràfica de la figura 8.4, la temperatura de treball assoleix el seu valor (370 °C) als 24,5 minuts. Això es degut a que a l'hora d'iniciar l'assaig no estava pulsat el botó *enable* del control de temperatura. Tot i així, la força de compressió s'ha aplicat un cop arribada la temperatura de treball. Passat els 10 minuts (als 34,5 minuts) de manteniment de la temperatura de treball i de la força, disminueix la temperatura del forn i es deixa d'aplicar càrrega.

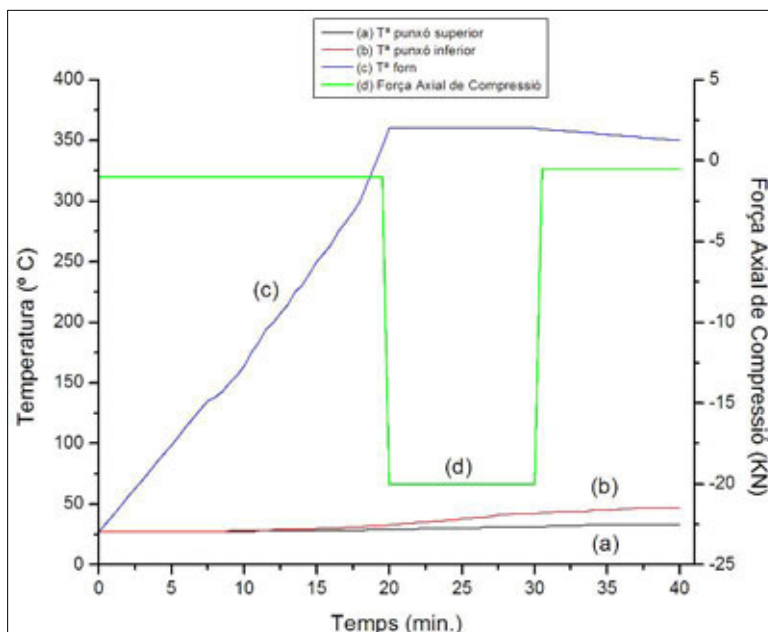


Figura 8.3. Gràfica del control de temperatura de les mordasses de l'assaig 2 (aliatge 1, força -20 KN, T^a de treball 360°C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

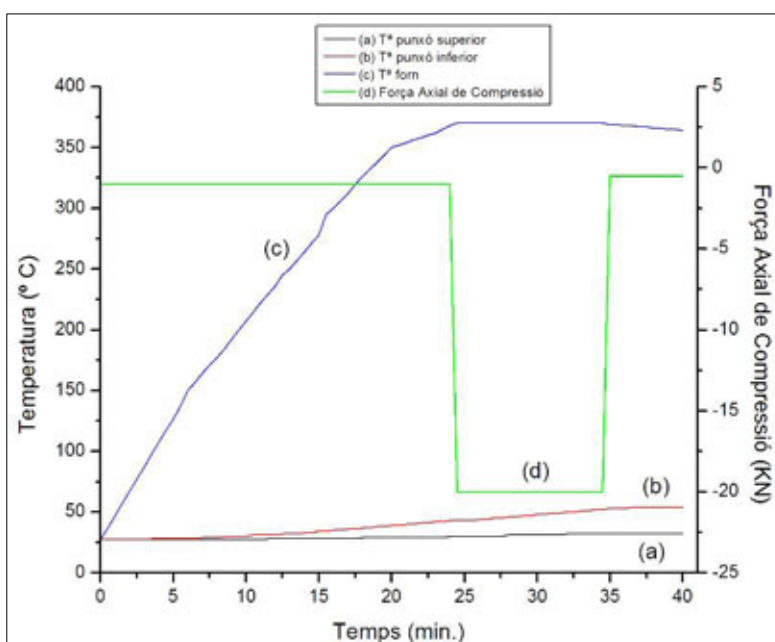


Figura 8.4. Gràfica del control de temperatura de les mordasses de l'assaig 3 (aliatge 1, força -20 KN, T^a de treball 370°C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

El control de temperatura de les mordasses de l'assaig 4 (aliatge 2, força -20 KN, T^a de treball 520°C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts), s'aprecien a la figura 8.5, on queda demostrat que les mordasses no han sofert cap perill. Els valors màxims de les temperatures del punxó superior i inferior són 36 i 73 °C respectivament. El temps per assolir la temperatura de treball no concorda amb la establerta de 20 minuts per escalfar el forn a 520°C, ja que existeix un decalatge entre la temperatura de treball programada i la real. La temperatura de treball s'assoleix als 22,5 minuts, per tant, s'aplica la càrrega. Passat 10 minuts (32,5 minuts), es deixa d'aplicar la força de compressió i disminueix la temperatura.

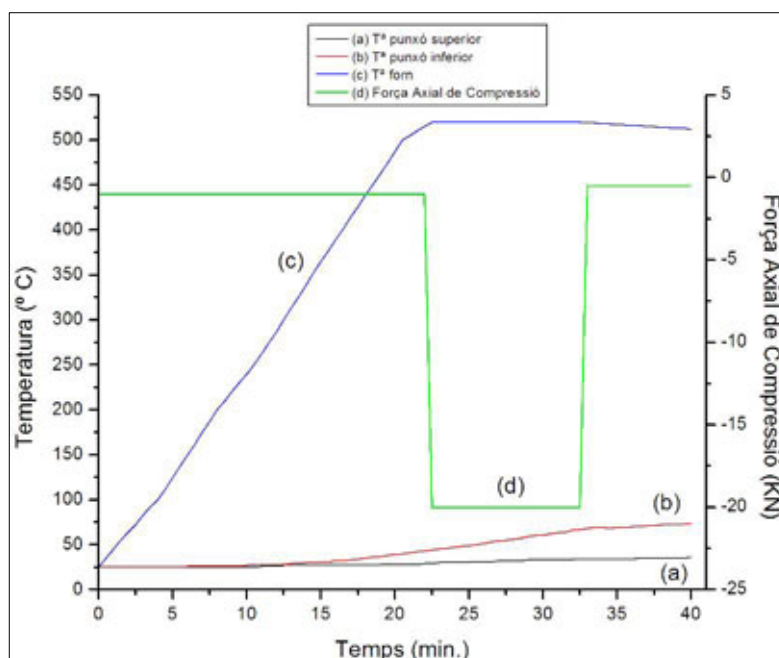


Figura 8.5. Gràfica del control de temperatura de les mordasses de l'assaig 4 (aliatge 2, força -20 KN, T^a de treball 520°C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

En l'assaig 5 (aliatge 2, força -20 KN, T^a de treball 415°C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts), no es mostra gràfica de l'evolució del procés, ja que la temperatura de treball era inferior a del assaig 4. Encara que hi ha els valors dels paràmetres de l'adquisició de dades de l'*Station Manager*. Tot i així, els punts d'obtenció de la temperatura es van incorporar per tal de tenir un control de la temperatura dels punts crítics. L'assaig es va desenvolupar sense incidències i no es va posar en perill, en cap moment, les mordasses.

L'assaig 6 (aliatge 3, força -20 KN, T^a de treball 600°C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts) es mostra a la figura 8.6. Com es pot apreciar a la figura les temperatures dels punxons superior i inferior, 40 °C i 72°C respectivament, no sobrepassen la temperatura màxima que pot suportar les mordasses. La temperatura de treball s'assoleix als 20,5 minuts, ja que existeix un petit decalatge. Per tant el manteniment de la temperatura de treball i la càrrega s'apliquen durant 10 minuts (30,5 minuts), i passat aquest temps, el forn es comença a refreda i es deixa d'aplicar força de compressió.

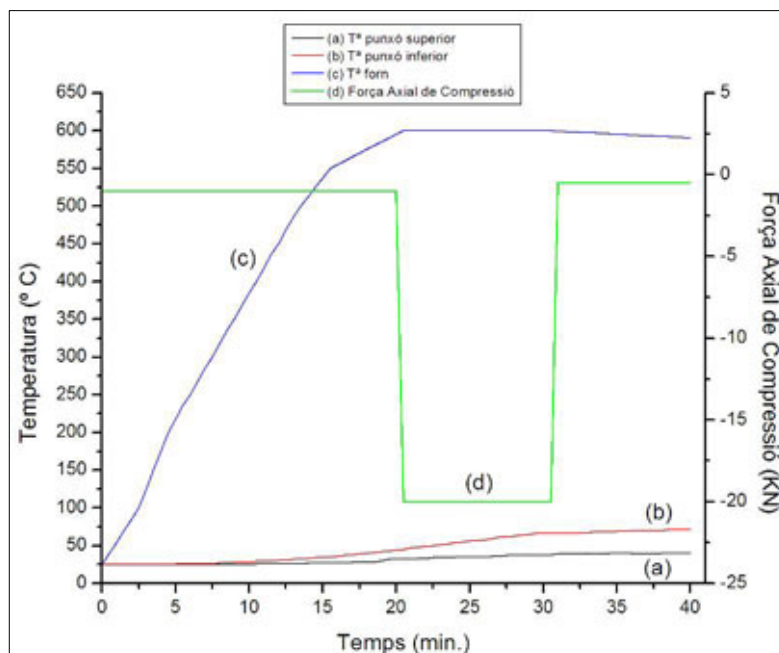


Figura 8.6. Gràfica del control de temperatura de les mordasses de l'assaig 6 (aliatge 3, força -20 KN, Tª de treball 600°C, temps de la rampa de Tª 20 minuts i temps Tª de treball 10 minuts).

8.2.- Preparació de mostres.

Les mostres dels assaigs es preparen per realitzar fotos amb el microscopi òptic, anàlisis de raigs X, amb el SEM i realitzar assaigs de microdureza. En l'annex G es troba la informació dels aparells utilitzats i dels subproductes en la preparació de la mostra.

El primer pas de la preparació consisteix tallar la mostra amb la talladora de manera perpendicular o transversal a la força aplicada (dibuix a) de la figura 8.7) i després de manera longitudinal o paral·lela a la força (dibuix b) de la figura 8.7).

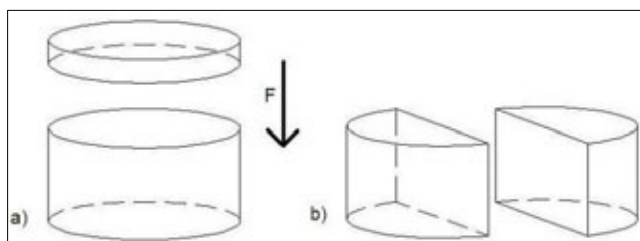


Figura 8.7. a) Tall transversal a la força axial de compressió; b) tall longitudinal a la força axial (F).

Seguidament, amb l'embotidora (annex G) i utilitzant reïna conductora, es preparen les mostres embotides. Les cares de la mostra que s'han d'observar són la cara plana del tall longitudinal i la cara del tall transversal (figura 8.8) que no ha estat en contacte amb algun dels punxons del dispositiu.

A continuació, amb la polidora, primer es fa un desbast per treure part de la reïna i que quedi la superfície el màxim de plana. Després es poleix utilitzant discs de diferent granulometries. Finalment s'utilitza la polidora automàtica i amb diferents pastes de diamant per aconseguir una superfície de la mostra d'aspecte de mirall. Finalment s'utilitza els ultrason per treure els residus de la mostra embotida.

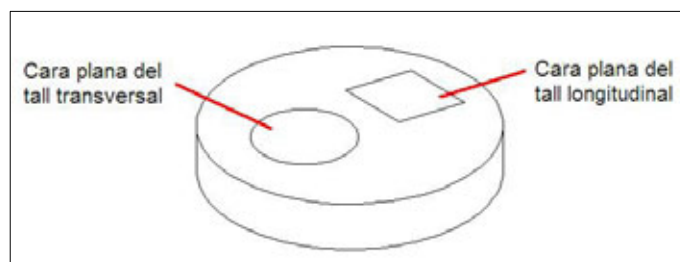


Figura 8.8. Mostra embotida.

8.3.- Percentatge de compactació.

Es realitzen fotografies de les seccions transversals i longitudinals de totes les mostres embotides amb el microscopi òptic a 200 augments. Les fotografies realitzades mostren els forats mentre que les partícules de la pols són difícils d'observar.

Utilitzant el programa informàtic *Gatan*, s'ha realitzat el càlcul de percentatge de compactació (o porositat) de les mostres, ja que el programa atribueix els píxels de la foto amb l'àrea de la mostra fotografiada. Les fotos de les mostres que s'han utilitzat pel càlcul de percentatge de compactació, tenen una grandària de 720x576 píxels.

Primer s'ha de calibrar la foto des del mateix programa i amb l'ajuda d'una altra foto de la barra de calibratge del microscopi òptic. Tant la foto a calibrar com la foto de la barra de calibratge han d'estar als mateixos augments, en aquest cas 200 augments. S'utilitza una aplicació del *Gatan* que detecta gradualment el nombre de forats de la foto en píxels. Per tant, la suma dels píxels dels forats, i coneguts els píxels de la foto de la mostra (720x576 píxels), que s'atribueixen el 100% de l'àrea de la foto, es pot saber % de forats o % de compactació de la mostra.

El percentatge de forats de les mostres són:

% de forats de la Mostra 1	6,64%
% de forats de la Mostra 2	6,57%
% de forats de la Mostra 3	5,47%
% de forats de la Mostra 4	5,43%
% de forats de la Mostra 5	6,19%
% de forats de la Mostra 6	4,98%

Per tant el percentatge de compactació de les mostres són:

% de compactació de la Mostra 1	93,36%
% de compactació de la Mostra 2	93,43%
% de compactació de la Mostra 3	94,53%
% de compactació de la Mostra 4	94,57%
% de compactació de la Mostra 5	93,81%
% de compactació de la Mostra 6	95,02%

En general, es parla de bona compactació quan els resultats del procés del premsat en calent té un percentatge de compactació entre 96-98%. Com es pot apreciar les mostres obtingudes estan lleugerament per sota d'aquest valor de percentatge de compactació.

A les tres primeres mostres (mostra 1, mostra 2 i mostra 3; aliatge 1), el percentatge de compactació augmenta segons augmenta la temperatura de treball de l'assaig. La diferència de percentatges de compactació entre les mostres 1 i 2 no és molt elevada, ja que la diferència de temperatura de treball és de 5 °C (mostra 1: 355 °C; mostra 2: 360 °C), mentre que la mostra 3 la temperatura és de 370 °C.

La temperatura de treball té el mateix efecte sobre el percentatge de compactació de les mostres 4 i 5 (aliatge 2), ja que la mostra 4 la temperatura és de 520 °C, mentre que en la mostra 5 és de 415 °C. Per tant la mostra 4 està més compactada que la mostra 5.

8.4.- Difracció de raigs X (XRD).

Quan sobre la mostra composta per diferents fases cristal·lines, s'incideixen els raigs X, s'origina un difractograma característic de cadascuna d'aquestes fases amb pics en posicions determinades. Les intensitats relatives d'aquests pics depenen de les concentracions de les diferents fases en la mostra.

Les experiències per obtenir els difractogrames s'han realitzat en el Servei de Difracció de Raigs X de la UAB amb el difractòmetre *Philips PW3050*. Les mesures han estat preses amb les següents condicions:

-Radiació:

Cu- k_{α} $\lambda(k_{\alpha 1}) = 1.54060 \text{ \AA}$
 $\lambda(k_{\alpha 2}) = 1.54439 \text{ \AA}$
 $I(k_{\alpha 2})/I(k_{\alpha 1}) = 0,500$

-Tub:

Anticàtode: Cu

Tensió: 40 kV

Corrent: 50 mA

El procediment a seguir es basa en veure si els pics dels difractogrames obtinguts experimentalment, coincideixen amb els de les fitxes des *PCPDFWIN*. Aquests fitxers contenen unes taules on s'indiquen els angles, distàncies interplanars, intensitats i índexs de Miller, dels diferents pics dels difractogrames de més de 50.000 fases. A més, d'incloure informació cristal·logràfica com tipus d'estructura i paràmetres de xarxa, i informació sobre les condicions experimentals en les quals es van obtenir les dades. Amb el programa informàtic *Maud* es troba les possibles fases de les mostres per tal de poder interpretar el difractograma i extreure'n informació. En el programa, mitjançant diverses aproximacions, i introduint-li les fases possibles i ajustant els paràmetres, s'obté valors com els paràmetres de cel·la, les macrodeformacions, la grandària del cristall i el percentatge de cada fase present amb gran exactitud.

Un cop obtingut els difractogrames de les mostres analitzades amb el *Maud* i el *PCPDFWIN*, es procedeix amb l'anàlisi dels espectres. Els difractogrames de les mostres s'han realitzat amb el programa informàtic *Origin*, on s'han indexats els pics segons

l'element que són.

En la figura 8.9 es pot observar l'espectre del difractograma de la mostra 1 (aliatge 1, força -15 KN, T^a de treball 355 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

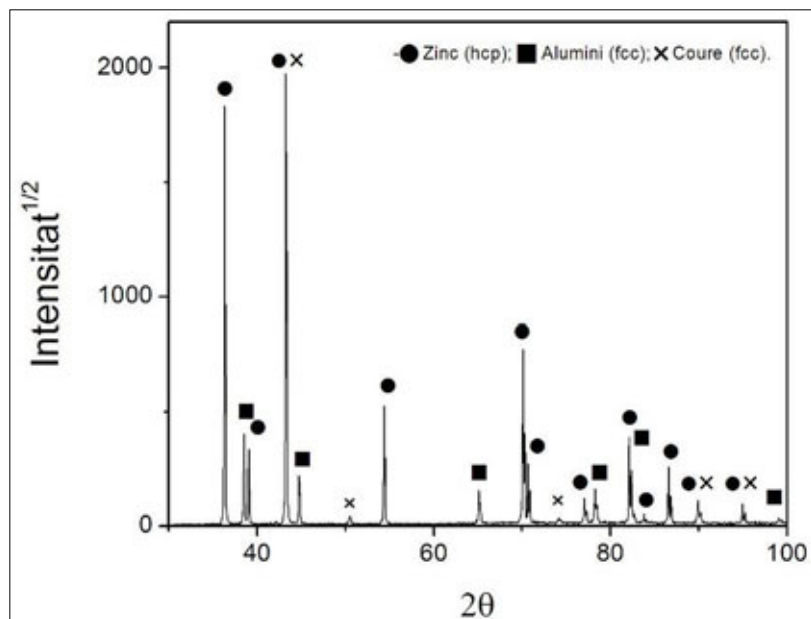


Figura 8.9. Espectre del difractograma de la mostra 1 (aliatge 1, força -15 KN, T^a de treball 355 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

En la figura 8.10 es pot observar l'espectre del difractograma de la mostra 2 (aliatge 1, força -20 KN, T^a de treball 360 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

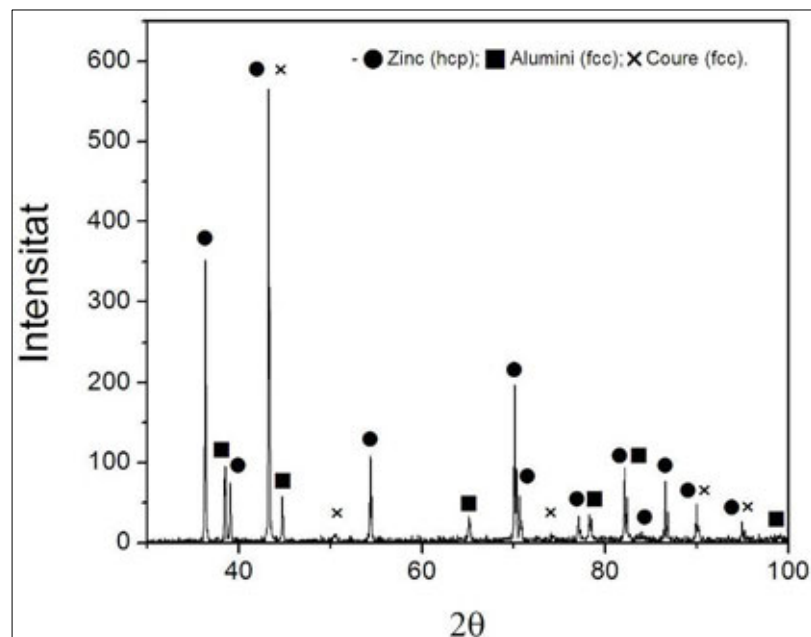


Figura 8.10. Espectre del difractograma de la mostra 2 (aliatge 1, força -20 KN, T^a de treball 360 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

En la figura 8.11 es pot observar l'espectre del difractograma de la mostra 3 (aliatge 1, força -20 KN, T^a de treball 370 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

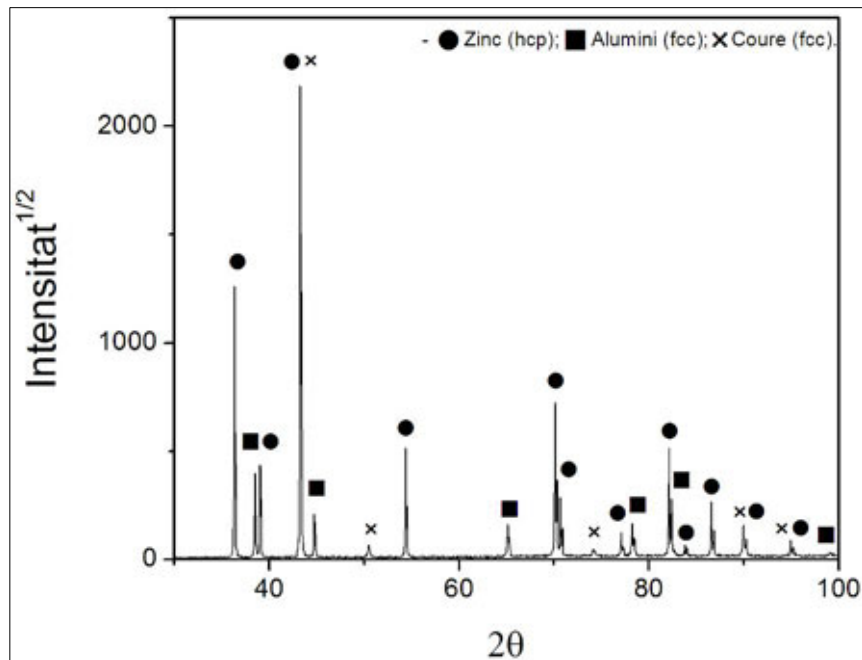


Figura 8.11. Espectre del difractograma de la mostra 3 (aliatge 1, força -20 KN, T^a de treball 370 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

En la figura 8.12 es pot observar l'espectre del difractograma de la mostra 4 (aliatge 2, força -20 KN, T^a de treball 520 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

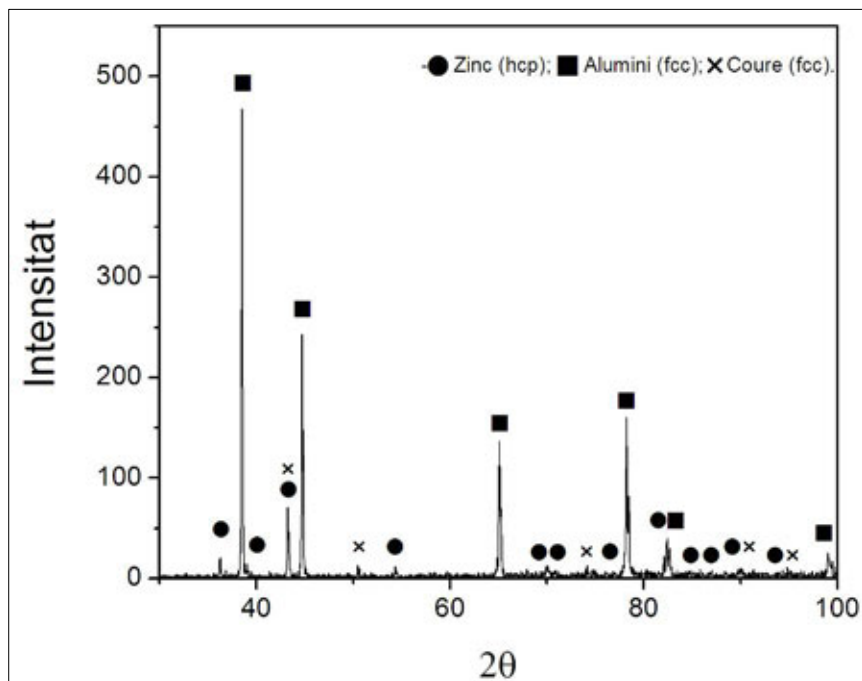


Figura 8.12. Espectre del difractograma de la mostra 4 (aliatge 2, força -20 KN, T^a de treball 520 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

En la figura 8.13 es pot observar l'espectre del difractograma de la mostra 5 (aliatge 2, força -20 KN, T^a de treball 415 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

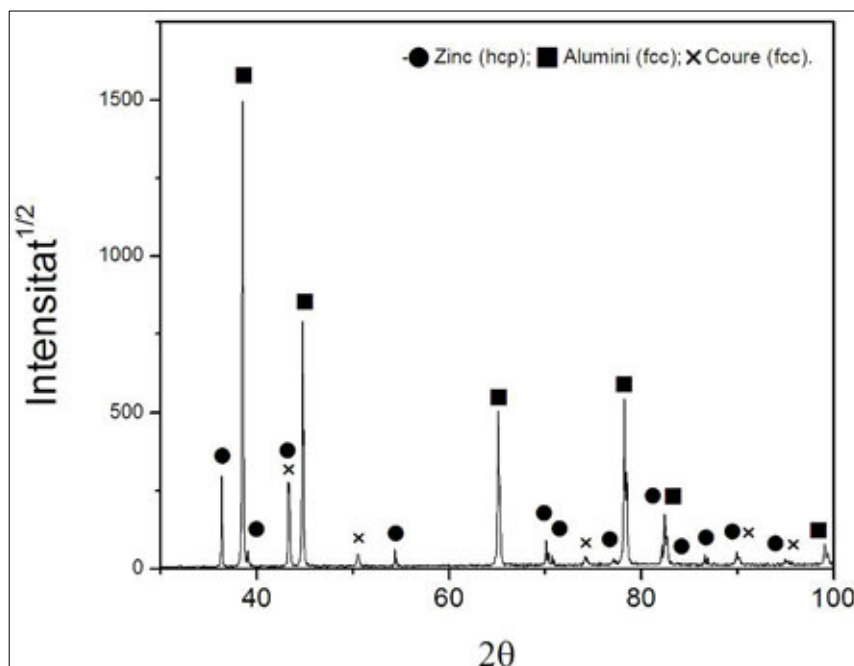


Figura 8.13. Espectre del difractograma de la mostra 5 (aliatge 2, força -20 KN, T^a de treball 415 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

En la figura 8.14 es pot observar l'espectre del difractograma de la mostra 6 (aliatge 3, força -20 KN, T^a de treball 600 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

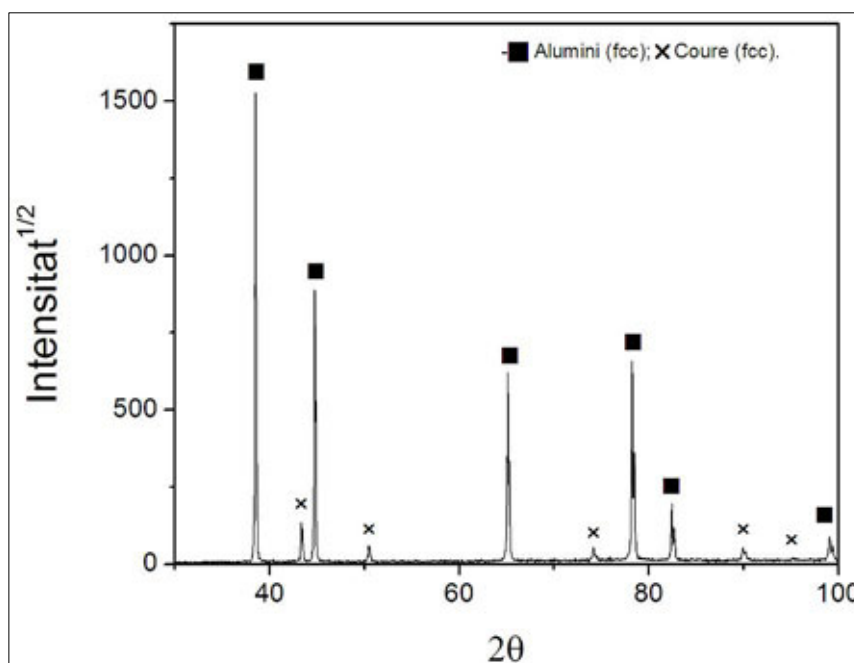


Figura 8.14. Espectre del difractograma de la mostra 6 (aliatge 3, força -20 KN, T^a de treball 600 °C, temps de la rampa de T^a 20 minuts i temps T^a de treball 10 minuts).

En els difractogrames de les mostres es pot observar que no han aparegut nous pics, indicant que no han aparegut noves fases intermetàl·liques durant els assaigs. Tampoc apareixen pics nous referents a pics d'òxids. Als difractogrames de les mostres 2 i 4, la intensitat dels pics són baixes, això es degut que durant l'anàlisi hi havia poca mostra dels aliatges com també que hi havia impureses sobre les mostres (per exemple, greix de les mans).

8.5.- Atacs químics.

Després de realitzar fotos amb microscopi òptic per calcular el percentatge de compactació de les mostres i fer l'anàlisi de raigs x, les mostres embotides s'ataquen químicament per així observar-les amb el SEM i, un altre cop, amb el microscopi òptic. L'atac químic ressaltava els límits de partícula i de gra ja que són les zones més energètiques. A la taula 8.15 s'indica l'atac químic de cada mostra segons el tipus d'aliatge, la substància d'atac i el temps de l'atac seguint les especificacions descrites en la referència [3].

Aliatge	Mostra	Substància d'atac	Temps d'atac (seg)
1 (Zn – 22% Al en pes (2%Cu en pes total))	Mostra1	47 ml (95-99 ml) Etanol 3 ml (1-5ml) HNO ₃	10
	Mostra2		10
	Mostra3		10
2 (Al – 10% Zn en pes (2%Cu en pes total))	Mostra4	95 ml H ₂ O	10
	Mostra5	2,5 ml HNO ₃	10
3 (Al – 4%Cu)	Mostra6	1,5 ml HCl 1 ml HF	10

Taula 8.15. Atacs químics per les mostres.

8.6.- SEM (Scanning Electron Microscopy).

Després d'atacar químicament les mostres s'utilitza el SEM o microscopi electrònic de rastreig (marca JEOL, model JEM 840) del Servei de microscòpia de la UAB, per realitzar microfotografies dels aliatges. Les microfotografies s'han realitzat amb electrons secundaris. En general, en les microfotografies s'aprecia amb claredat els efectes de la compressió exercida, concretament en el pla del tall longitudinal a la càrrega.

A la figura 8.16 s'observa la microfotografia del pla del tall transversal a la força axial de la mostra 1. En aquest pla, es pot observar i identificar que en la microfotografia l'element més clar de la imatge és el Zn i l'Al és el més fosc. El Cu es pot apreciar a la part superior i a la inferior dreta de la imatge, bàsicament perquè la forma de partícula és esfèrica i perquè és més clar que l'Al. Per saber exactament de quins elements són les regions de la microfotografia, es realitza el procés de mapping o rastreig.

No es pot apreciar les partícules de l'Al ja que l'atac químic utilitzat per l'aliatge 1 no és específic per aquest element, en canvi, s'observa forats ja que possiblement s'hagi després alguna partícula.

Existeix una profunditat entre les fronteres o límits de les partícules del Zn i l'Al, indicant que hi hagut poca o cap difusió entre els dos elements. L'atac químic actua sobre

les zones més energètiques de les mostres, és a dir, en els límits de partícula i de gra, deixant entreveure la poca adherència entre els elements principals de l'aliatge 1.

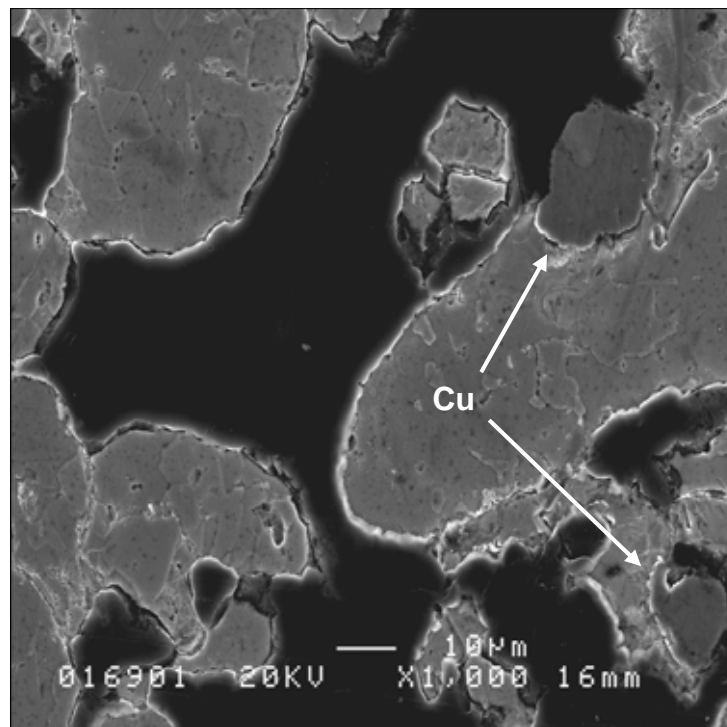


Figura 8.16. Microfotografia del pla del tall transversal a la força axial de la mostra 1.

La figura 8.17 correspon al pla transversal a la força axial de la mostra 2. S'aprecia la profunditat dels límits de partícula entre el Zn i l'Al, indicant la poca difusió entre elements.

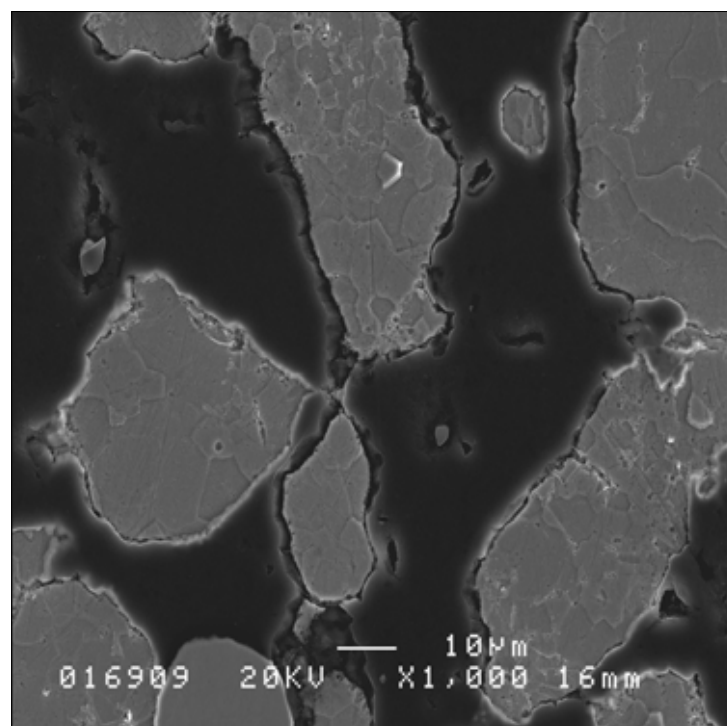


Figura 8.17. Microfotografia del pla del tall transversal a la força axial de la mostra 2.

La figura 8.18 correspon al pla transversal a la força axial de la mostra 3. S'aprecia que s'ha produït certa difusió entre el Zn i l'Al, ja que no s'observa les mateixes profunditats que en les mostres anteriors entre els 2 elements. Això es degut al augment de temperatura de treball d'aquesta mostra durant l'assaig.

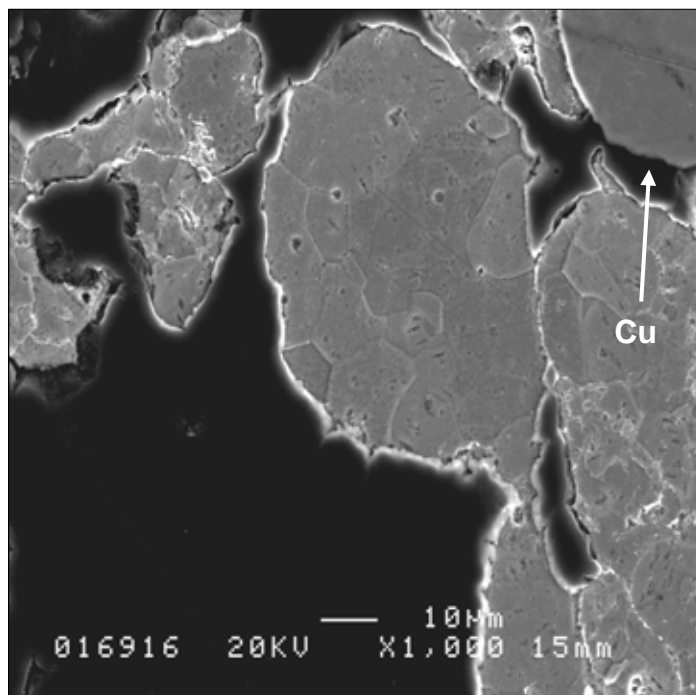


Figura 8.18. Microfotografia del pla del tall transversal a la força axial de la mostra 3.

Amb el SEM, es realitza un mapping (o rastreig) al llarg d'una línia entre grans de Zn i Al tal com es mostra a la figura 8.19, per tal de fer l'anàlisi. Aquest procés indica si hi ha difusió entre els 2 elements, i també de quin elements són les diferents regions fosques i clares de la microfotografia.

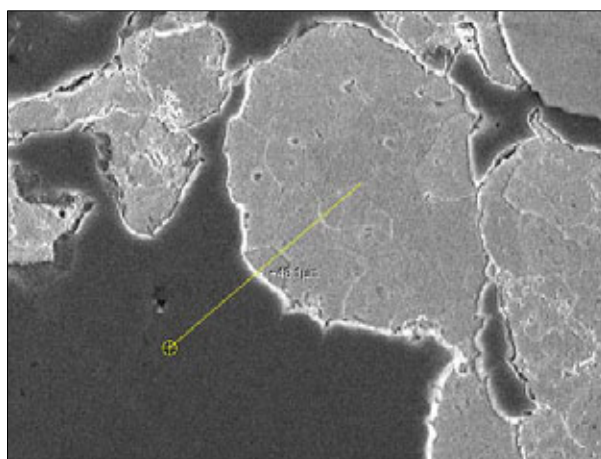


Figura 8.19. Microfotografia del procés de mapping de la mostra 3.

El resultat del mapping s'aprecia en les gràfiques de la figura 8.20. Les pendents de les gràfiques de $AlK\alpha$ i $ZnK\alpha$ indiquen que hi ha una certa difusió entre els 2 elements. Si les pendents fossin menys inclinades, llavors existiria major difusió.

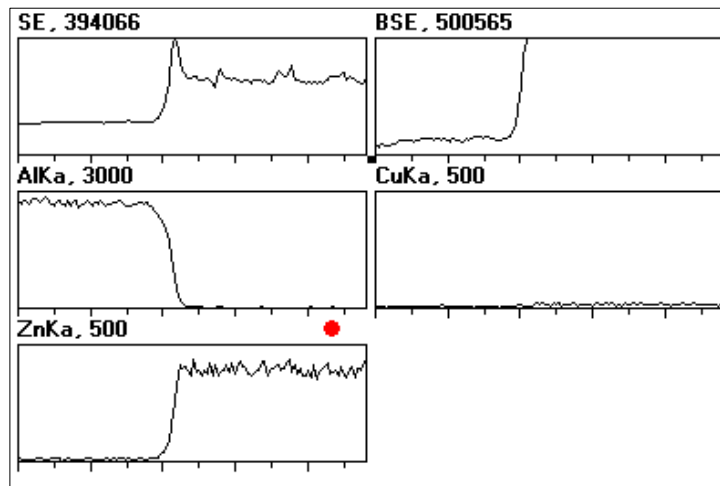


Figura 8.20. Gràfiques obtingudes del mapping de la línia que es mostra a la figura 8.19.

Es realitza un altre mapping per observar si hi ha difusió entre el Cu i el Zn (figura 8.21). El resultat s'indica en les gràfiques de la figura 8.22, on les pendents de ZnKa i CuKa són pràcticament vertical indicant l'absència de difusió.

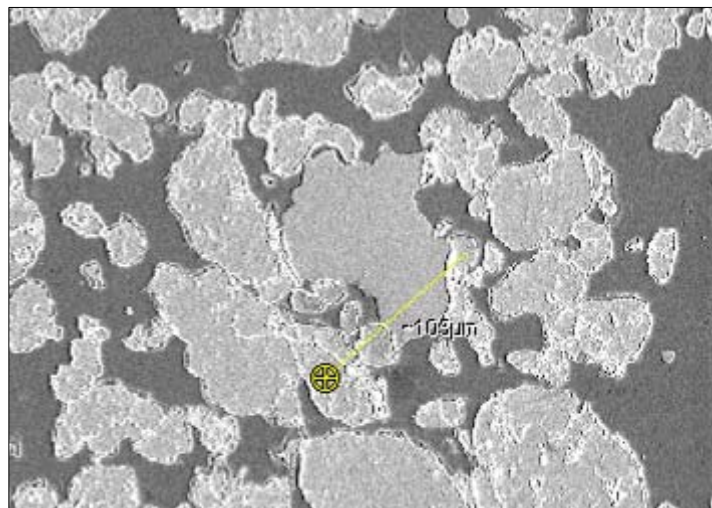


Figura 8.21. Microfotografia del procés de mapping de la mostra 3.

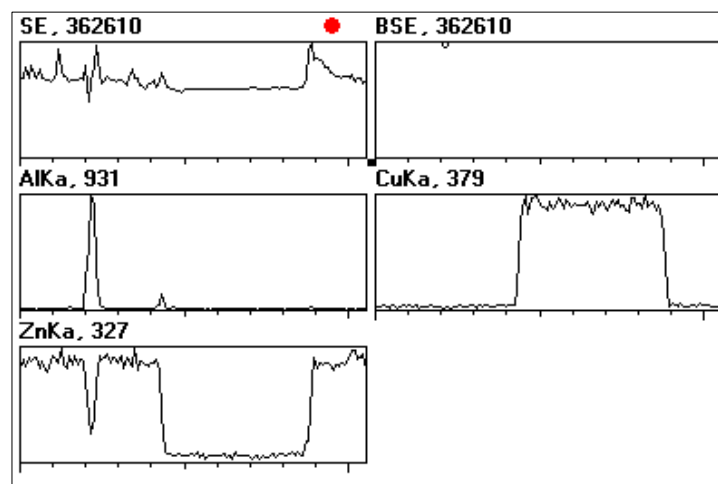


Figura 8.22. Gràfiques obtingudes del mapping de la línia que es mostra a la figura 8.21.

Les figures 8.23, 8.24 i 8.25 mostren els plans de tall longitudinal a la força de les mostres 1, 2 i 3 respectivament. Es pot observar que les partícules de Zn i d'Al s'han allargat en direcció transversal a la força aplicada a causa de la compressió dels assaigs. En canvi, les partícules de Cu es manté esfèriques. La mostra 3, tal com s'aprecia a la figura 8.25, és la més compactada de les 3, ja que es pot observar que hi ha poca separació entre les partícules de Zn. També, a causa de l'augment de temperatura en l'assaig respecte els altres, fa que el Zn es torni més dúctil i més fàcil de compactar.

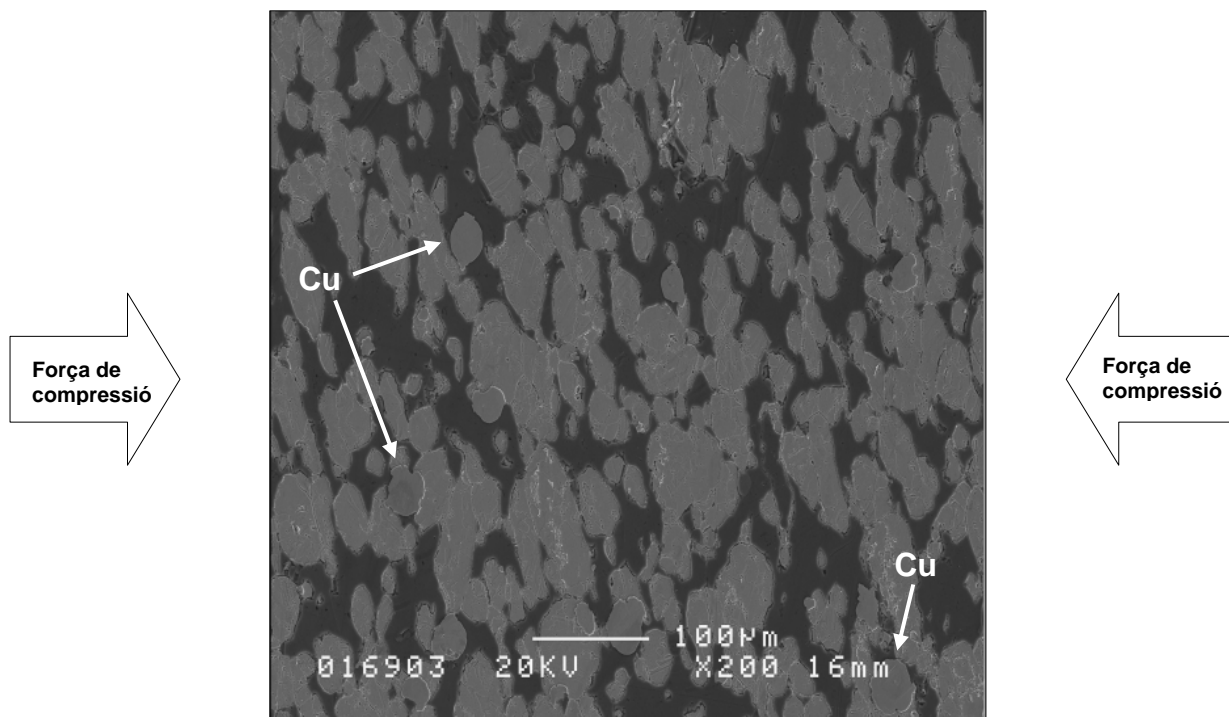


Figura 8.23. Microfotografia del pla del tall longitudinal a la força axial de la mostra 1.

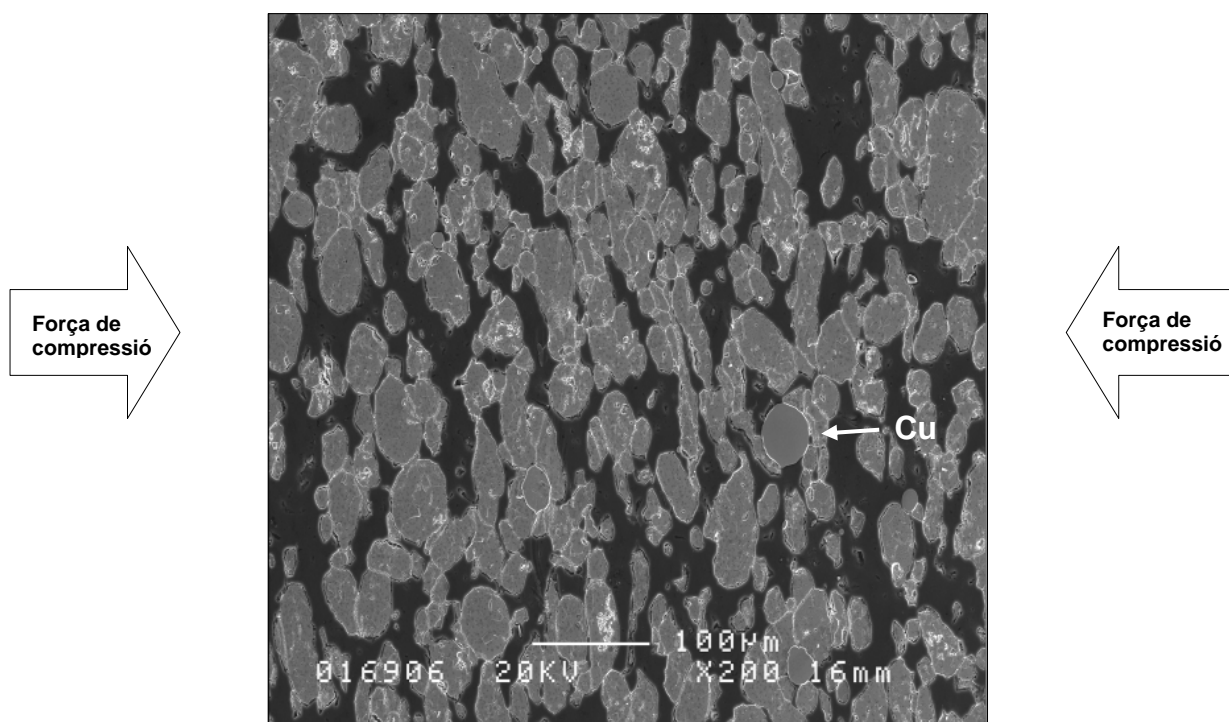


Figura 8.24. Microfotografia del pla del tall longitudinal a la força axial de la mostra 2.

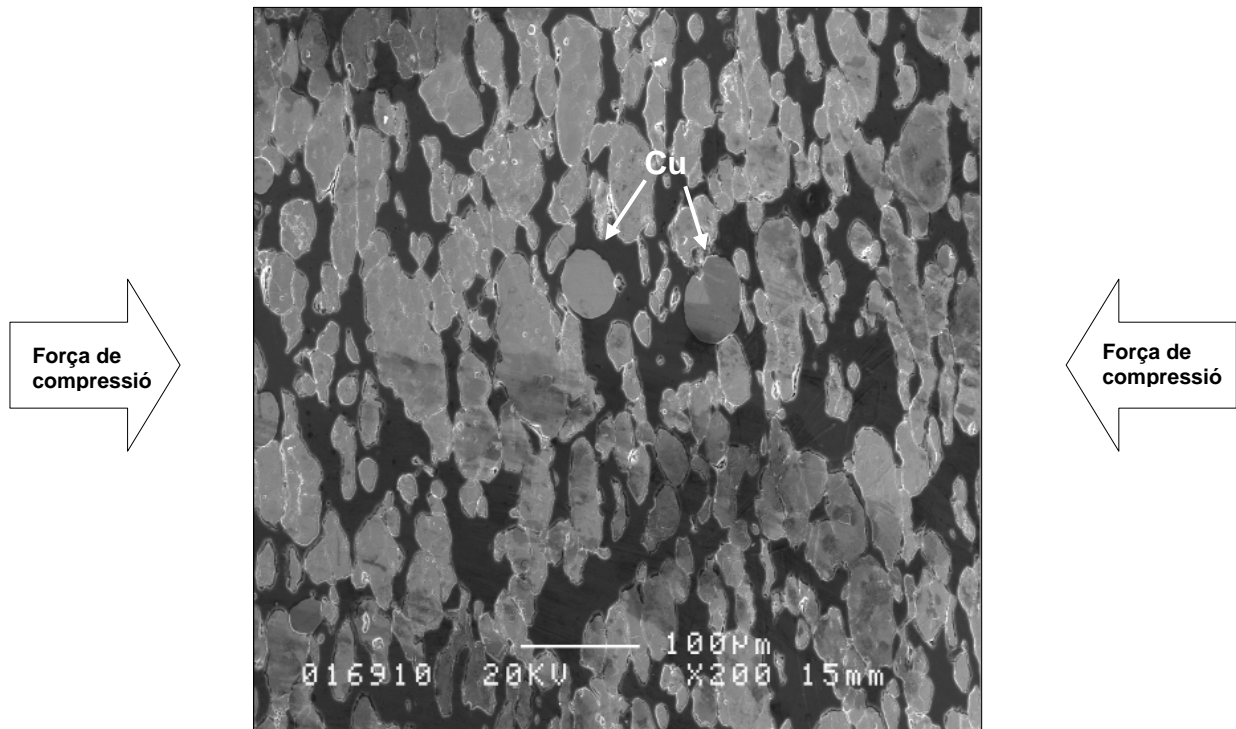


Figura 8.25. Microfotografia del pla del tall longitudinal a la força axial de la mostra 3.

Les figures 8.26 i 8.27 corresponent a als plans del tall transversal de les mostres 4 i 5 respectivament.

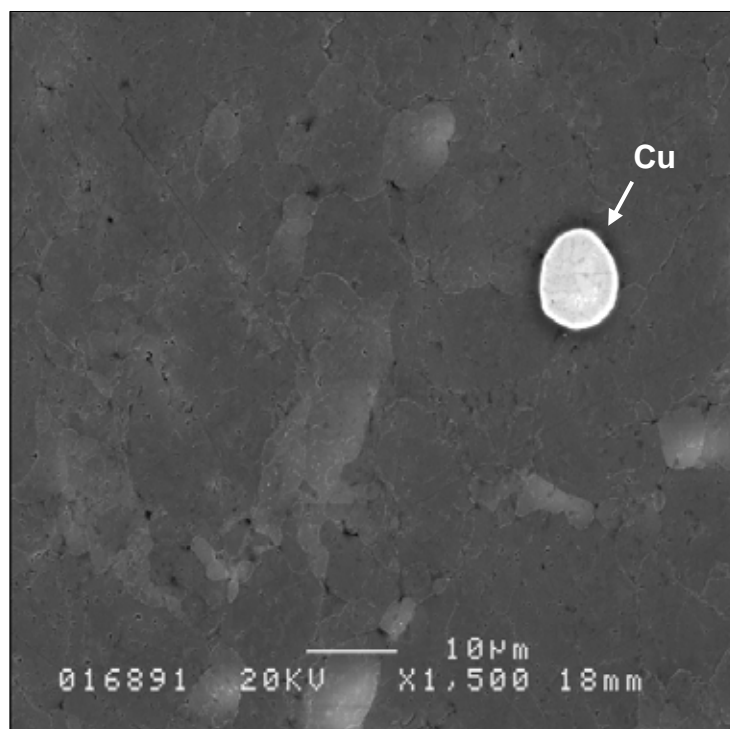


Figura 8.26. Microfotografia del pla del tall transversal a la força axial de la mostra 4.

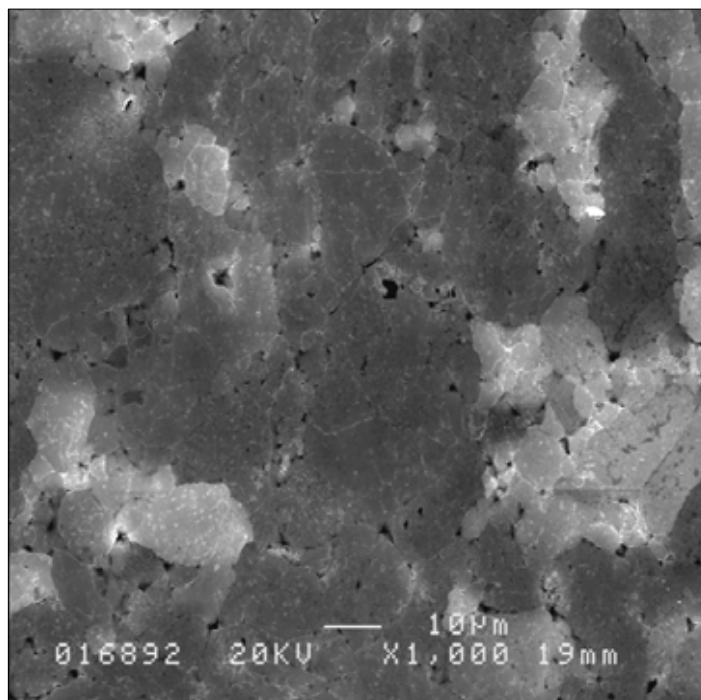


Figura 8.27. Microfotografia del pla del tall transversal a la força axial de la mostra 5.

S'aprecia que la mostra 4 està molt més compacta que la 5, ja que en aquesta última s'observa un número major de forats. Aquesta diferència de compactació entre les mostres es deu a la temperatura de treball, ja que la mostra 4 va ser compactada a 520 °C mentre que la 5 a 415 °C. Per tant a major temperatura de treball, millora l'adherència entre partícules.

En les figures és difícil distingir l'Al i el Zn, en canvi el Cu es pot observar a la figura 8.26 ja que la partícula que l'identifica és esfèrica

Es realitza un mapping a la mostra 4 per tal de saber si existeix difusió entre l'Al i el Cu (figura 8.28). La figura 8.29 és la imatge a escala del mapping.

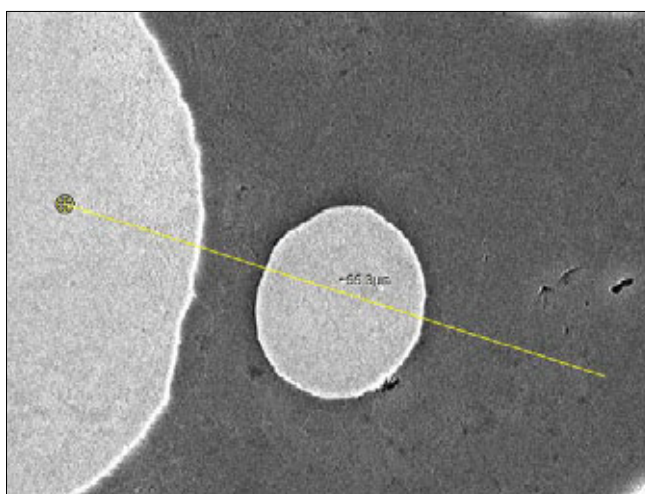


Figura 8.28. Microfotografia del procés de mapping de la mostra 4.

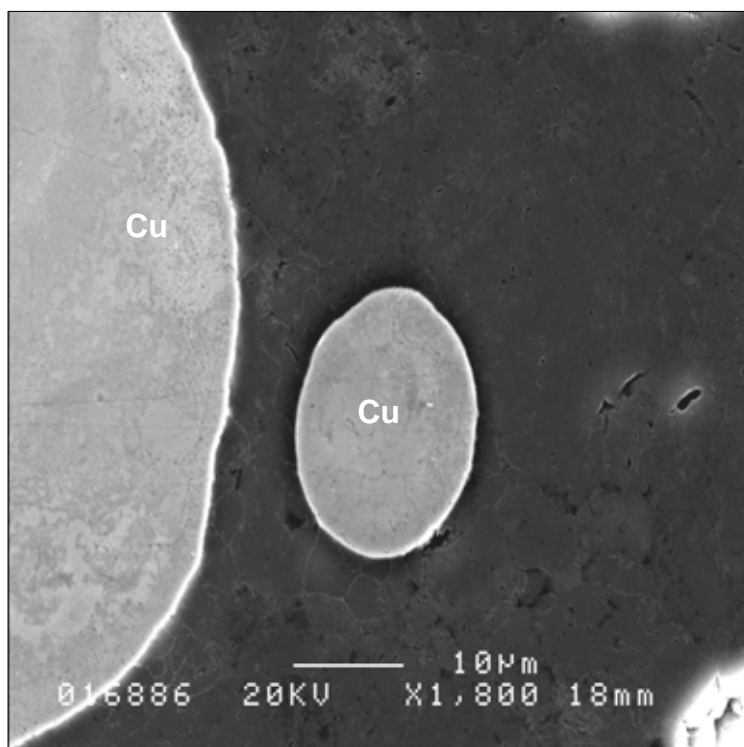


Figura 8.29. Microfotografia del pla del tall longitud a la força axial de la mostra 4.

El resultat del mapping s'aprecia en les gràfiques de la figura 8.30. Les pendents de les gràfiques de *AlKa* i *CuKa* indiquen que hi ha una certa difusió entre els 2 elements.

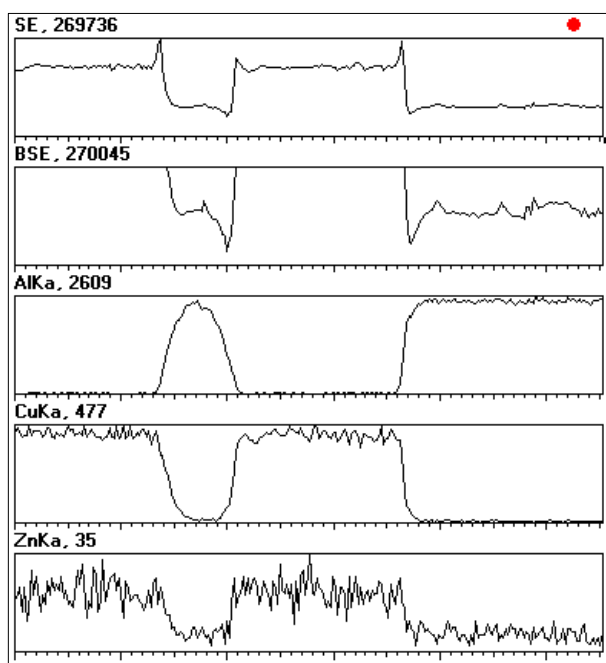


Figura 8.30. Gràfiques obtingudes del mapping de la línia que es mostra a la figura 8.28.

8.7.- Microscopi òptic.

S'han realitzat varies fotografies de les mostres atacades químicament amb el microscopi òptic (annex G) del Grup de Física de Materials II de la UAB.

Les figures 8.31, 8.32 i 8.33 corresponent a les fotografies de 100 augments de les mostres 1, 2 i 3 respectivament. Aquestes fotografies han estat realitzades en el pla longitudinal a la força de compressió.

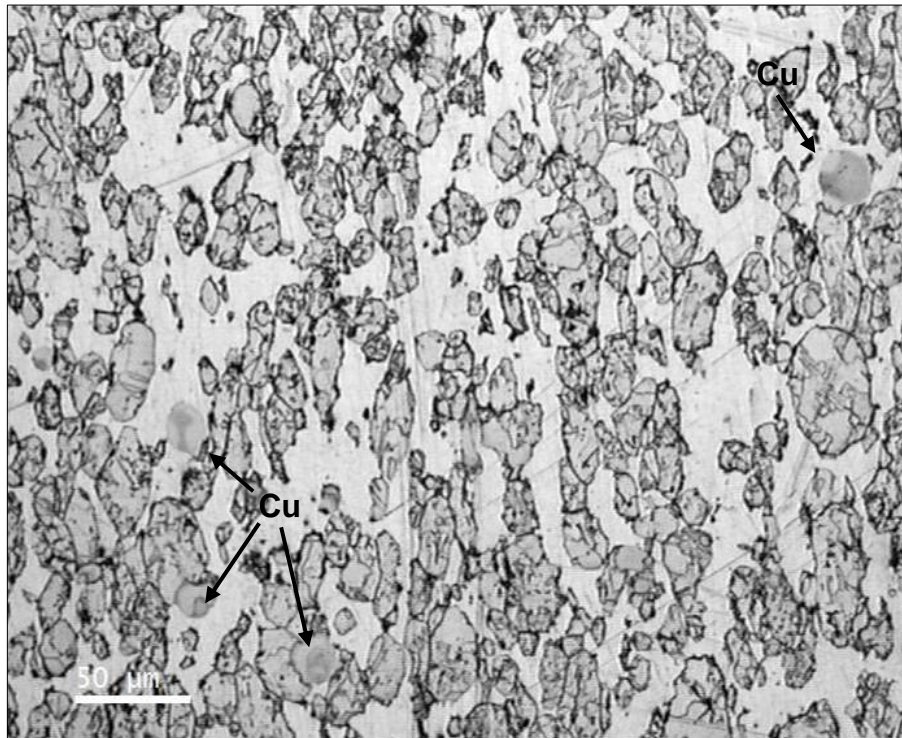


Figura 8.31. Mostra 1 observada al microscopi òptic.

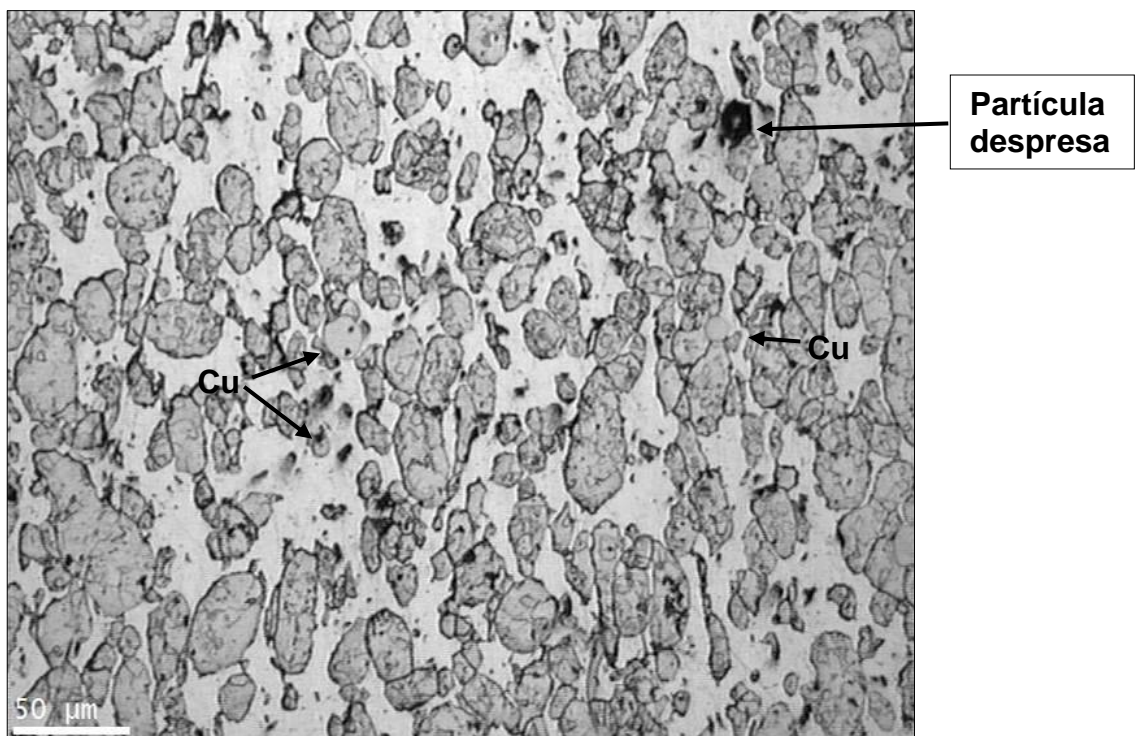


Figura 8.32. Mostra 2 observada al microscopi òptic.

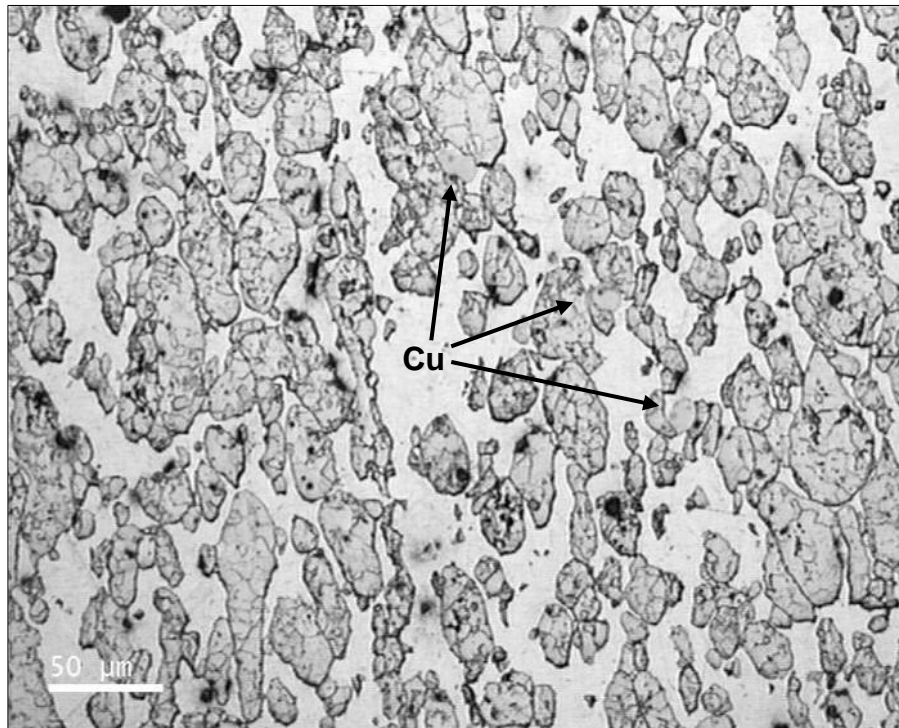


Figura 8.33. Mostra 3 observada al microscopi òptic.

En les 3 figures anteriors es poden distingir sense problemes el Zn, l'Al i el Cu. Les partícules de Zn són les grises més fosques ja que l'atac químic emprat ha ressaltat els límits de les seves partícules. Mentre que la zona gris més clara és Al. No es poden distingir les partícules d'Al perquè l'atac era específic pel Zn. També s'observa que hi ha alguns forats esfèrics que corresponen a partícules de Cu despresa.

Les figures 8.34 i 8.35 corresponen a les fotografies de 200 augments de les mostres 4 i 5 respectivament.

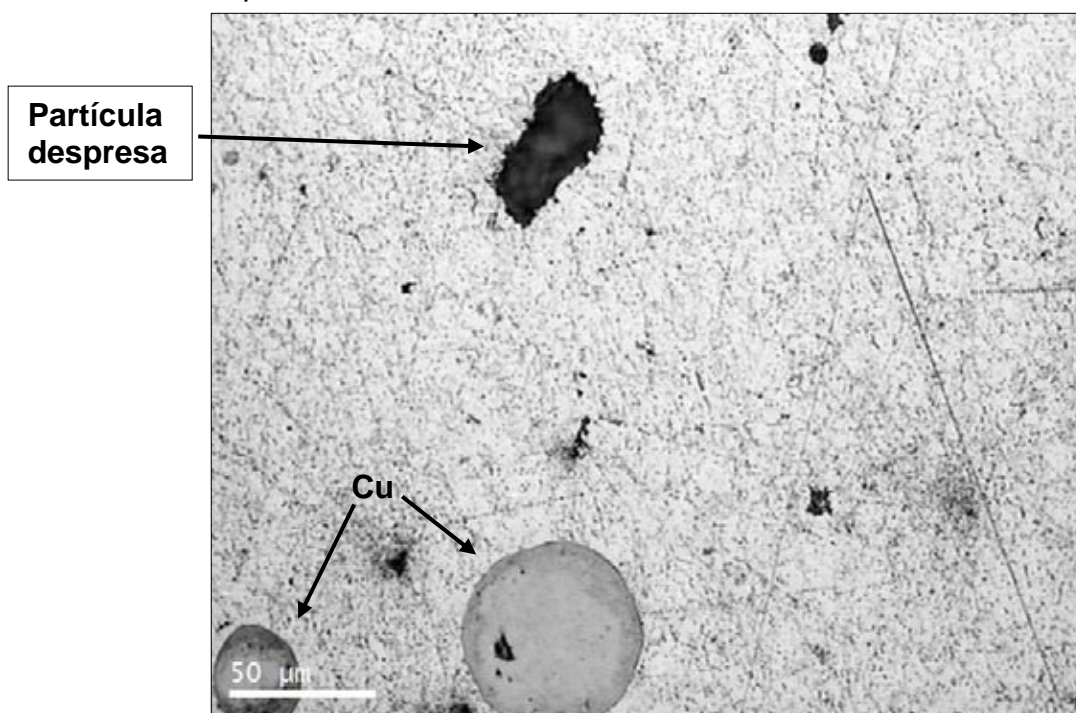


Figura 8.34. Mostra 4 observada al microscopi òptic.

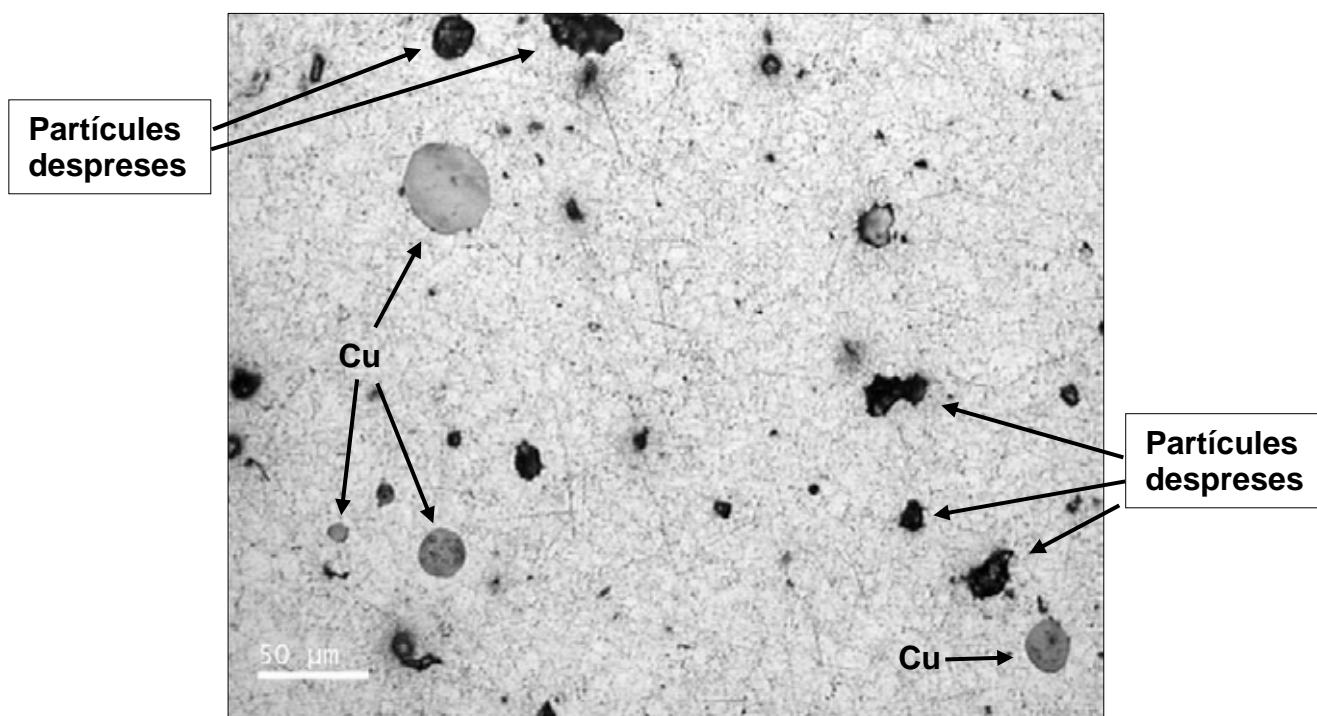


Figura 8.35. Mostra 5 observada al microscopi òptic.

En aquestes figures és difícil apreciar el Zn, en canvi s'observa forats irregulars que possiblement hagin deixat les partícules de Zn quan s'ha efectuat l'atac químic sobre aquestes mostres. Els forats esfèrics corresponent a partícules de Cu despreses. A la mostra 5 es poden observar més partícules despreses que a la mostra 4, ja que hi hagut menys adhesió entre les partícules a causa de treballar a menor temperatura que la mostra 5.

La figura 8.36 corresponent a la fotografia de 200 augments de la mostra 6. S'observa que s'han després moltes partícules de l'Al (punts negres) degut a l'atac químic demostrant la poca adherència entre les partícules. L'atac químic es realitza amb el temps aconsellat per tal de no fer malbé la mostra.

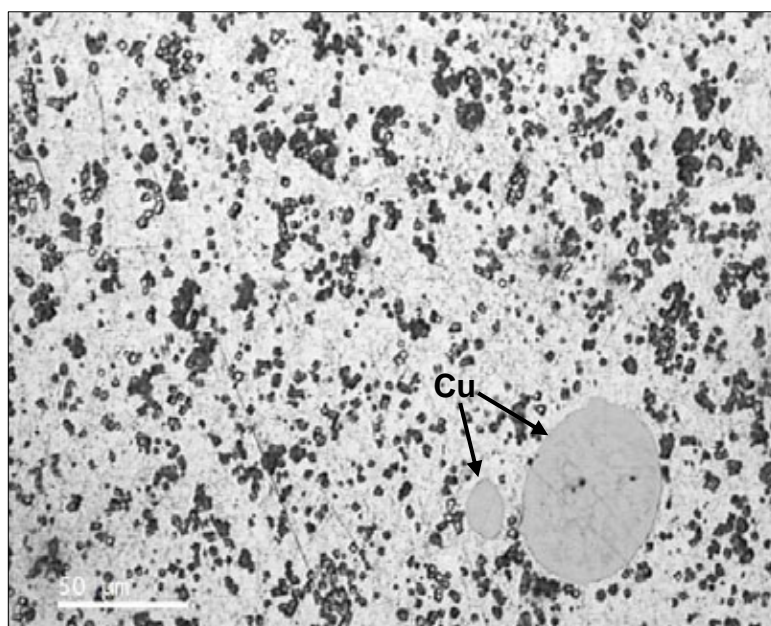


Figura 8.36. Mostra 6 observada al microscopi òptic.

8.8.- Comparació grandària de pols i de partícula.

Per realitzar aquesta comparació de grandària entre la pols inicial i les partícules obtingudes després de l'assaig, s'han realitzat varies microfotografies de la pols amb el SEM i fotografies amb el microscopi òptic de les mostres compactades. Les figures 8.37 i 8.38 corresponent a microfotografies de pols d'Al i de Zn respectivament.

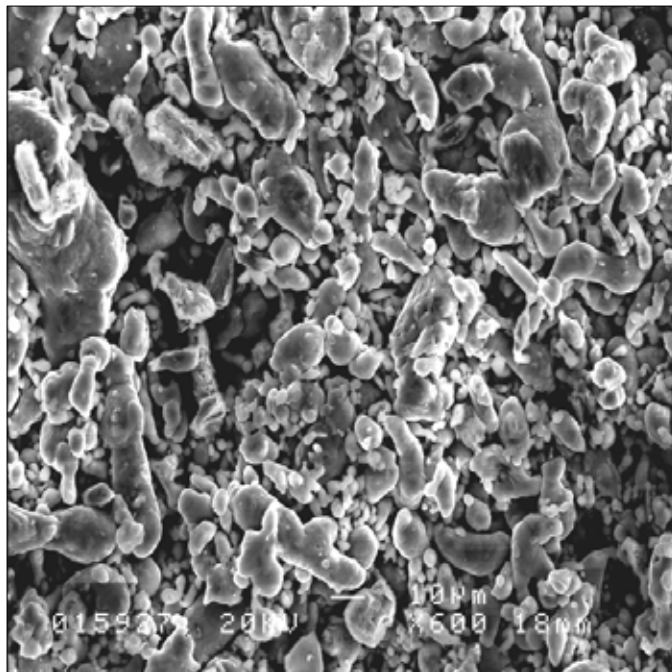


Figura 8.37. Pols d'Al observada al SEM.

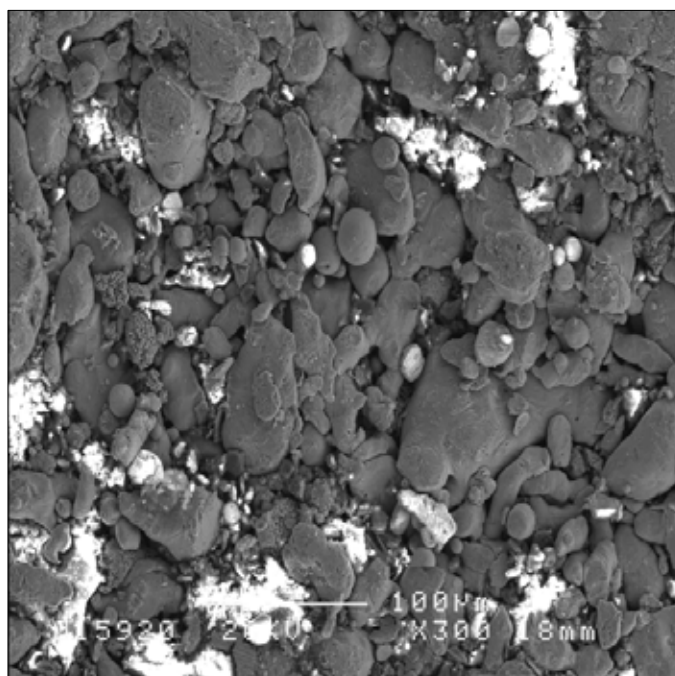


Figura 8.38. Pols de Zn observada al SEM.

Per tal d'efectuar la grandària de la pols, s'ha utilitzat el programa informàtic *Gatan*. Calibrant les microfotografies obtingudes del SEM i posteriorment mesurant, en la mateixa direcció, la màxima pols possible de la imatge, s'obté una grandària mitja de la pols.

Les mitges de la grandària de pols d'Al i de Zn es poden apreciar a la taula 8.39.

Element	Mitja de la grandària de la pols (μm)
Al	$5,026 \pm 5,89$
Zn	$26,628 \pm 15,56$

Taula 8.39. Mitges de la grandària de la pols.

Per poder comparar les grandàries inicials de les finals, es necessita saber les mesures de les grandàries de partícules de les mostres després de l'assaig. En aquest cas, enlloc d'utilitzar fotos del SEM, s'han utilitzat fotos del microscopi òptic. Per tal de saber les grandàries es fa servir el mateix procediment que l'anterior, és a dir, amb el programa informàtic *Gatan*. S'ha de comentar que només es prenen les mesures de la grandària de la partícula als elements que fan de matriu en els aliatges de les mostres compactades.

Les mitges de la grandària de les partícules d'Al i de Zn de les mostres es poden apreciar a la taula 8.40.

Mostra	Element	Mitja de la grandària de les partícules (μm)
Mostra 1	Zn	$16,798 \pm 11,70$
Mostra 2	Zn	$16,476 \pm 13,85$
Mostra 3	Zn	$14,812 \pm 10,49$
Mostra 4	Al	$10,721 \pm 8,70$
Mostra 5	Al	$5,723 \pm 4,47$
Mostra 6	Al	$3,843 \pm 1,69$

Taula 8.40. Mitges de la grandària de les partícules.

Es pot apreciar una disminució de grandària de partícula del Zn a les mostres 1, 2 i 3. Aquesta disminució es deguda a la deformació plàstica de les partícules en la direcció perpendicular a la força de compressió. Els valors dels resultats de la grandària de la partícula han estat mesurats en la direcció que s'aplica la força de compressió.

8.9.- Microdureza.

Abans de realitzar l'atac químic a les mostres embotides i després de l'anàlisi amb raigs X, es realitzen assaigs de microdureza amb el microindentador VICKERS HARDNESS TESTER, que es localitza al laboratori de Materials II de la ETSE.

Es realitzen 12 indentacions a cada mostra, excepte a la mostra 1, 6 indentacions al pla del tall perpendicular a la força, i 6 més al pla del tall longitudinal a la força. Els resultats de les mesures es poden apreciar a la taula 8.41. La unitat de duresa Hv, en unitats de sistema internacional és kg/mm^2 .

Mostra	Microduresa pla del tall longitudinal (Hv)	Microduresa pla del tall perpendicular (Hv)
Mostra 2	$46,5 \pm 1,0$	$47,1 \pm 0,8$
Mostra 3	$47,8 \pm 2,2$	$47,8 \pm 1,7$
Mostra 4	$50,0 \pm 0,4$	$50,5 \pm 0,4$
Mostra 5	$51,3 \pm 0,9$	$51,7 \pm 0,2$
Mostra 6	$51,1 \pm 0,4$	$51,1 \pm 0,5$

Taula 8.41. Duresa de les mostres.

La microduresa de la mostra 3 respecte a la mostra 2, és lleugerament superior, això es degut a que la mostra 3 té un percentatge de compactació superior a la mostra 2. En canvi, la mostra 5 és més dur que la mostra 4, això pot ser es degut a que la mostra 4 té una grandària de partícula més petita, encara que la mostra 4 té un percentatge de compactació inferior a la mostra 5.

9.- CONCLUSIONS.

Analitzats els resultats dels experiments dels assaigs, així com la metodologia d'assaig i els paràmetres obtinguts pel sistema, es poden treure les conclusions per tal de verificar les condicions òptimes per l'ús del dispositiu.

Les conclusions a què s'han arribat són:

-En els resultats dels assaigs es pot comprovar que la pols ha estat comprimida, encara que la unió entre partícules ha estat bastant escassa, o sigui, la densificació ha estat bastant baixa. Això és degut a dos paràmetres, a la força de compressió i a la temperatura de treball. En el premsat en calent, la força fa disminuir el temps de la temperatura de treball [1], vist els resultats, s'hauria d'augmentar el valor de la força de compressió superior a 20 KN sense sobrepassar el màxim restringit de la MTS de 25 KN. Si s'augmenta la força, la pressió entre les partícules metàl·liques seria més gran. Mentre la temperatura de treball està molt limitada pel dispositiu (650 °C) i la temperatura crítica de les mordasses i la galga de compressió (177 °C). Es podria allargar el temps de la temperatura de treball durant l'assaig si es disposes d'un sistema de refrigeració orientat cap a les mordasses. Una possible opció d'aquest sistema seria afegir a la mampara protectora dos ventiladors a l'altura de cada mordassa.

-El dispositiu de compactació ha estat dissenyat per acoblar a la MTS model 858, tot i que també es pot acoblar a les màquines d'assaigs mecànics MTS models 810 i 370 ja que disposen del mateix tipus de mordasses de subjecció de provetes que el model 858. Un aspecte important dels models 810 i 370 és que disposen d'un rang de força axial de 100 a 500 KN, per tant s'augmentaria la pressió entre partícules durant l'assaig.

-La difusió entre els elements de les mostres ha estat bastant baixa o nul·la. En la mostra 3, la qual ha estat compactada amb la major temperatura de treball en l'aliatge 1, hi ha una certa difusió entre l'alumini i el zinc com es pot observar a la gràfica de la figura 8.20 (apartat 8.2) corresponent al mapping realitzat sobre la mostra amb el microscopi SEM. En canvi, no hi ha difusió entre el zinc i el coure de la mateixa mostra com indica la gràfica del mapping de la figura 8.22. En la mostra 4, que ha estat compactada a 520 °C, hi ha una certa difusió entre l'alumini i el coure, tal com s'observa a la gràfica del mapping de la figura 8.30. Per tant, per augmentar la difusió entre elements s'hauria d'augmentar el temps de la temperatura de treball durant l'assaig per sobre dels 10 minuts, tenint en compte no sobrepassar les restriccions del sistema.

-El temps de temperatura de treball es pot augmentar uns quants minuts més, ja que les gràfiques del control de temperatura de les mordasses dels assaigs (apartat 8.1) mostren que no s'han posat en perill aquests components del sistema.

-Després de realitzar l'atac químic, seguint les condicions dels atacs segons [3], s'ha pogut comprovar la poca adherència entre les partícules de les mostres, indicant la poca difusió que hi hagut entre els elements. Ja que en les microfotografies del SEM s'ha pogut observar zones abruptes als límits de partícula dels diferents elements. On s'observa amb claredat la poca adherència entre partícules és a la mostra 6 (Al -4% Cu), ja que en les fotografies realitzades amb el microscopi òptic es pot observar un gran nombre de partícules despreses a causa de l'atac químic.

-Amb els resultats dels percentatges de compactació (apartat 8.3), s'ha pogut comprovar que la compactació de les mostres és alta (entre 93% i 95% de compactació), però no la desitjada (96-98% de compactació).

-Un altre factor que limita aquesta densificació és el diàmetre del forat de la matriu de 8 mm, si es tingues un diàmetre inferior, s'augmentaria la pressió entre partícules

(apartat 5). Per motius d'eina de mecanització, el forat ha estat limitat en aquest diàmetre.

-El dispositiu queda molt limitat respecte a la utilització de la pols metàl·lica, ja que les especificacions, sobretot el punt de fusió, són excessives respecte a les prestacions del utilatge. Encara que els aliatges de base de Zn i de base d'Al, són aptes pel dispositiu, ja que les prestacions del utilatge són factibles per processar aquestes pols metàl·liques. S'ha pogut comprovar que aquestes pols no causen cap tipus de desperfecte ni deteriorament a la matriu després de realitzar els assaigs.

-El procés d'extracció de la mostra ha sofert variacions respecte el projecte inicial, ja que es realitzava amb l'ajut de la MTS, és a dir, muntant els punxons extractors i després amb la força de compressió de la unitat de càrrega s'extreia la mostra. No es fa servir el procés antic d'extracció, ja que l'alineament dels punxons extractors amb l'eix del pistó de la unitat de càrrega era difícil. Encara que els punxons extractors estiguessin guiats pels forats del punxó inferior, el punxó superior es podia doblegar durant l'aplicació de la força. La MTS ha d'aplicar molta força per extreure la mostra del dispositiu. En canvi, en aquest projecte, en l'extracció de la mostra es fa amb l'ajut d'una maceta de nylon (apartat 4.3). S'ha comprovat que la mostra no sofreix cap tipus de deteriorament amb el nou procés d'extracció.

-Una altra variació que es podria aplicar per futurs assaigs amb el dispositiu, és regular l'altura del bastidor de la unitat de càrrega per adaptar el dispositiu. Es pot regular a una altura màxima de 250 mm aproximadament entre la mordassa superior i la galga de compressió. Tenint en compte que una separació excessiva entre aquests components, fa que el pistó de la unitat de càrrega es desplaci en excés i amb la possibilitat de no aplicar pressió durant l'assaig, ja que pot arribar al màxim del seu desplaçament.

-Tota la metodologia d'assaig, des del mètode d'assaig fins l'extracció de la mostra es realitza aproximadament durant 1:40 hores; uns 20 minuts en la preparació del dispositiu, posar en operativitat la MTS, etc, 30 minuts en l'assaig i 50 minuts en la refrigeració del dispositiu fins l'extracció de la mostra. El temps de la metodologia d'assaig limita l'ús del sistema a 1 assaig per dia, com a màxim, 2 assaigs per dia, ja que per fer el següent assaig, el dispositiu ha d'estar refredat.

-Un altre factor que cal tenir en compte, és l'atmosfera de treball. En els resultats dels assaigs no s'ha observat cap tipus d'oxidació dels aliatges. En canvi, si en algun futur assaig es decidís utilitzar pols més reactiva, com el magnesi, el dispositiu quedaria molt limitat, ja que el sistema no disposa de cap cambra per treball amb atmosferes de gasos inerts o al buit.

-Vistes les prestacions del dispositiu, hi hauria la possibilitat de que treballes amb altres tipus de materials de baix punts de fusió, com polímers (PEHD, teflón).

10.- PRESSUPOST.

El preu total del projecte s'ha establert en conseqüència dels productes i serveis que han fet realitzar el dispositiu i la seva optimització. El preu total ve definit pels cilindres d'acer demanats a UDDEHOLM pel dispositiu, la mecanització per part de FERRO-MECÀNICA S.A. dels cilindres per obtenir el dispositiu; la mampara de protecció que ha estat expressament fabricada per aquest tipus d'assaigs, i pels grams de pols metàl·lica utilitzats en les mostres.

Els annexs C i D són albarans de UDDELHOLM i FERRO-MECÀNICA S.A. respectivament, on s'observen els preus establerts per dites empreses pels productes demanats i els serveis donats per obtenir el dispositiu de compactació.

Com s'ha comentat amb anterioritat, la mampara de protecció ha estat fabricada al Servei Tècnic de la facultat de Ciències de la UAB, i el seu preu ve definida pels materials utilitzats en la seva elaboració.

La pols metàl·lica utilitzada prové de l'empresa ALFA AESAR, per tant els preus estan establerts segons els seus productes.

En la següent taula s'estableix el preu total del projecte, així com els preus de diferents productes del projecte.

Producte	Descripció	Quantitat	Preu (€)
Dispositiu	Cilindres de VANADIS EXTRA 4 (UDDEHOLM)	6 unitats	224,51
	Mecanització (FERRO-MECÀNICA S.A.)	-	953,72
Mampara de protecció	Fabricada al Servei Tècnic	1 unitat	240,85
Zn	Pot d'1 kg de 66 € (ALFA AESAR)	17,38 g	1,15
Al	Pot de 250 g de 30,60 € (ALFA AESAR)	25,579 g	3,13
Cu	Pot d'1 kg de 81,60 € (ALFA AESAR)	1,298 g	0,10
		Preu total (€)	1.423,46

Per tant el preu total del projecte és de 1.423,46 €, tenint en compte que el preu total del dispositiu de compactació és de 1.177,23 €.

En el preu total no s'ha tingut en compte el consum elèctric i d'aigua de la MTS durant la seva utilització ni de la preparació de mostres. Així com la utilització de productes com la reïna embotidora, discs de polir, pasta de diamant, lubricant i altres productes químics per l'atac químic a les mostres. Aquest consum energètic i la utilització d'aquest productes podria inflar una mica més el preu total del projecte.

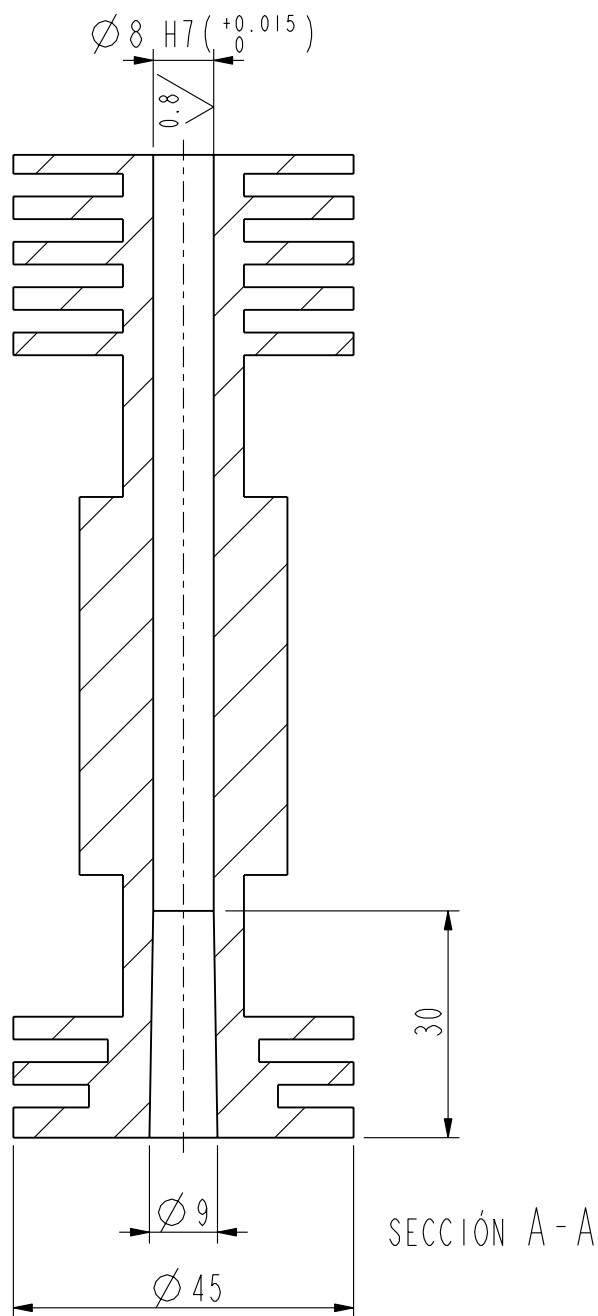
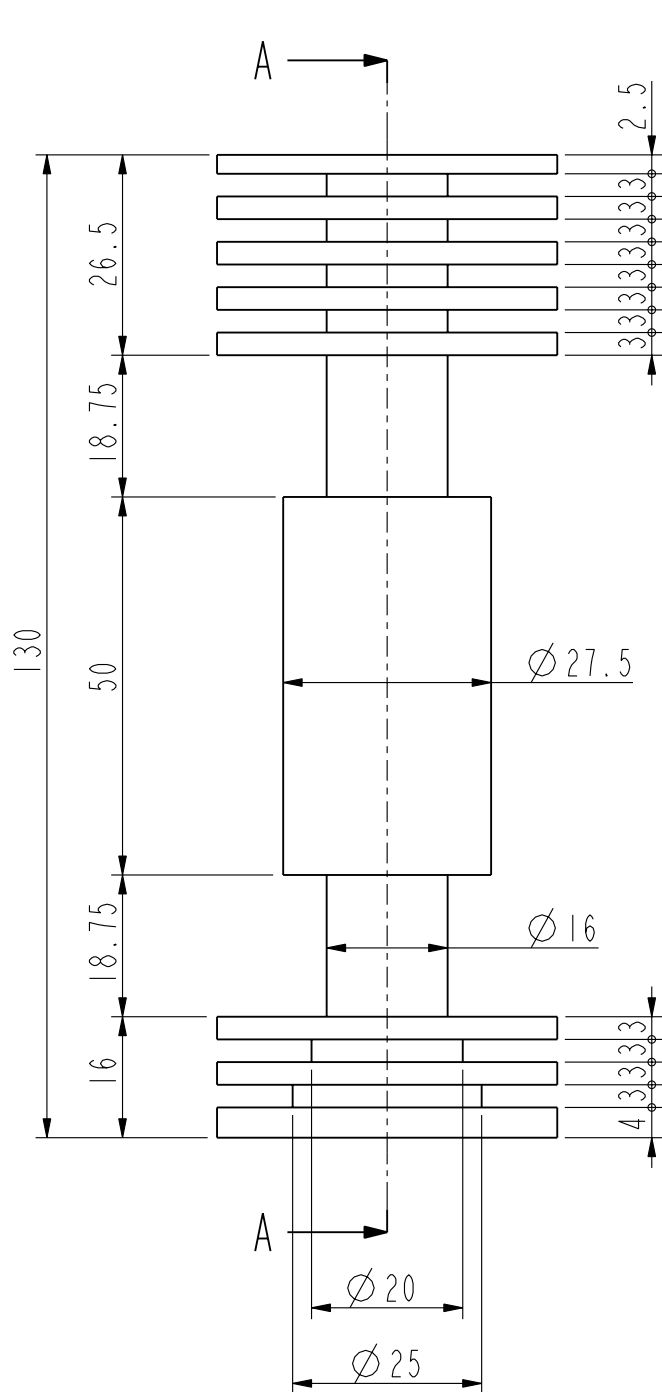
10.- REFERÈNCIES.

- [1]. Apunts Tecnun tema 7. pag 23. <http://www.tecnun.es> (20/03/07).
- [2]. José A. Aragón y Juan C. Villegas; Efectos del 2%p Cu en la respuesta ante el sinterizado de la mezcla de polvos Zn-22%p Al; Inf. Tecnol. v. 17 n.6, La Serena, 2006.
- [3]. The Science Behind Materials Preparation. A guide to Materials Preparation and Analysis. BUEHLER® SUMMET™. Copyright © 2004 BUEHLER LTD.
- <http://www.mts.com> (25/10/07).
- http://es.wikipedia.org/wiki/Carburo_de_tungsteno (04/01/08).
- <http://www.metalest.es/cont/hojastecnicas/02050.htm> (04/01/08).
- http://www.gig.etsii.upm.es/gigcom/temas_di2/dimensionales/default.html (18/10/07).
- Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Tomo I & II. William D. Callister, Jr. Editorial Reverté S.A. Edición 2000.
- Ciencia de Materiales. José María Lasheras, Javier F. Carrasquilla. Editorial Donostiarra. Primera edición, 1991.

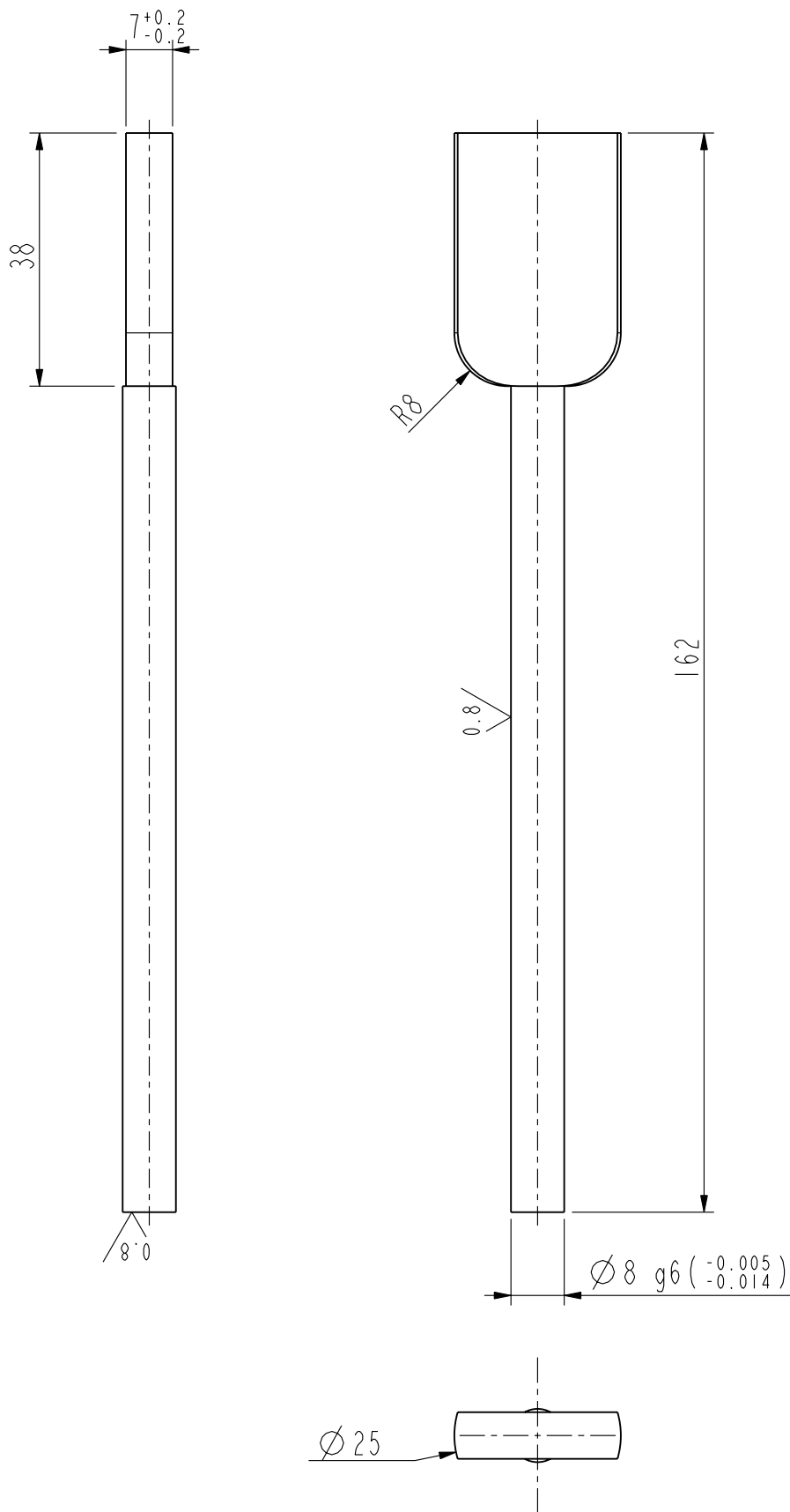
11.-ÍNDEX ANNEXOS.

- Annex A.- PLÀNOLS DISPOSITIU.**
- Annex B.- VANADIS EXTRA 4.**
- Annex C.- ALBARÀ UDDEHOLM.**
- Annex D.- ALBARÀ FERRO-MECÀNICA S.A.**
- Annex E.- TAULES DE TOLERÀNCIES.**
- Annex F.- PROTOCOLS DE SEURETAT DE LA MTS.**
- Annex G.- APARELLS UTILITZATS.**
- Annex H.- TAULES DE VALORS DELS ASSAIGS.**

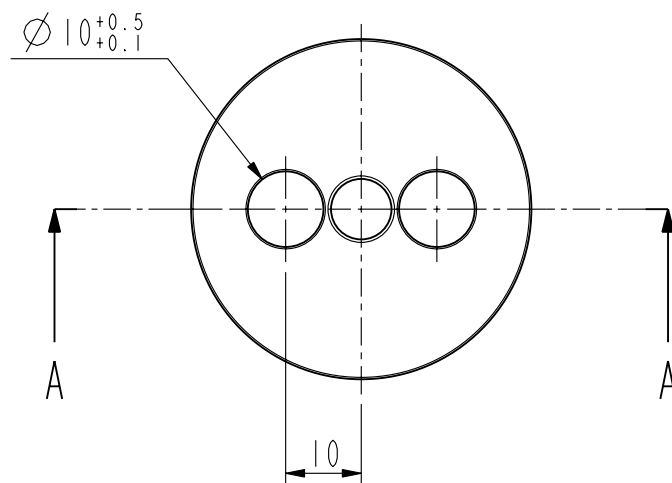
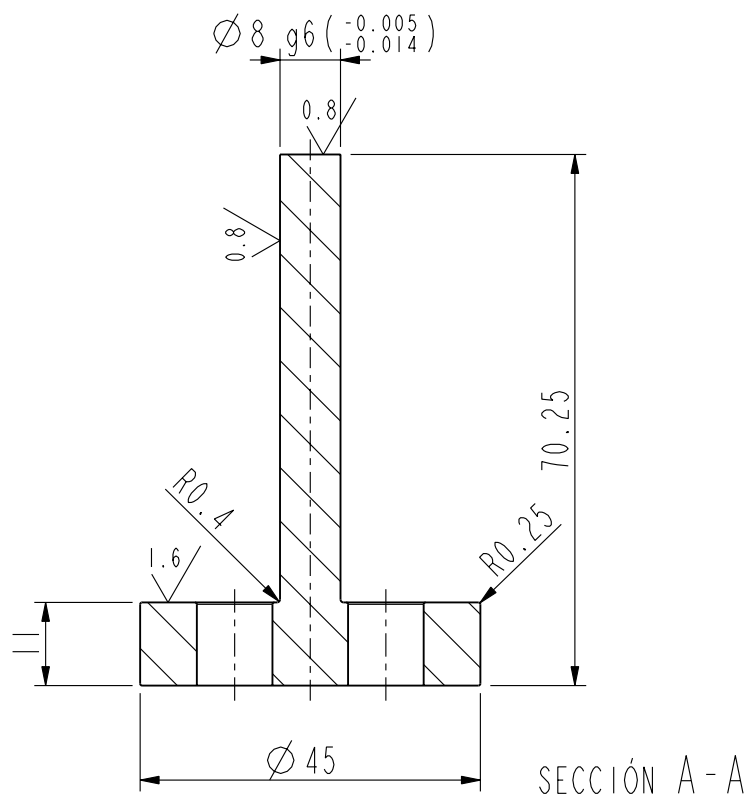
Annex A.- PLÀNOLS DISPOSITIU.



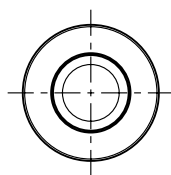
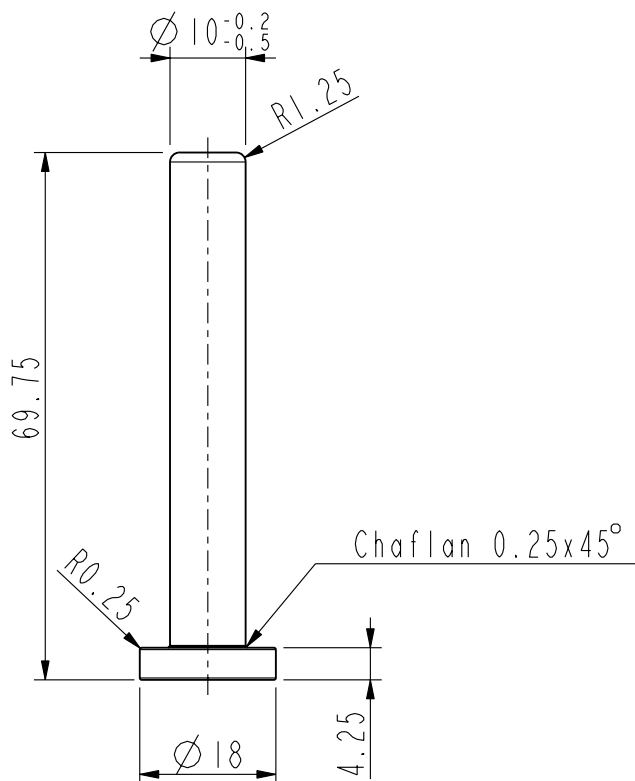
	FECHA	NOMBRE	CANTIDAD:	1	U.A.B.
DIBUJADO	13-11-06	Iu Morales	PESO (kg):	0.583	
APROBADO	15-11-06	Iu Morales	HOJA:	1 de 6	
PROYECTO			DENOMINACION PLANO		ESCALA
DISPOSITIU DE COMPACTACIÓ			MATRIU		1:1
TRATAMIENTO			MATERIAL		DIMENSIONES
Cementació, Tremp, Revingut			Vandadis 4 Extra		133xØ46



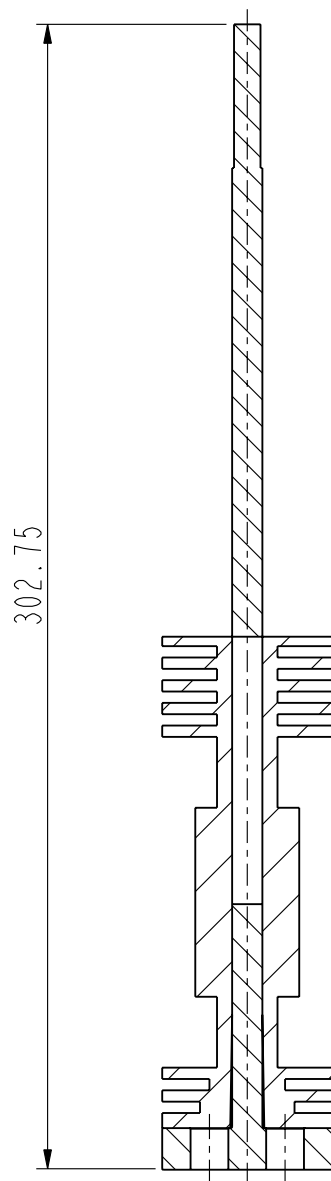
	FECHA	NOMBRE	CANTIDAD:	1	U.A.B.
DIBUJADO	13-11-06	Iu Morales	PESO (kg):	0.099	
APROBADO	15-11-06	Iu Morales	HOJA:	2 de 6	
PROYECTO			DENOMINACION PLANO		ESCALA
DISPOSITIU DE COMPACTACIÓ			PUNXO_SUPERIOR		1:1
TRATAMIENTO			MATERIAL		DIMENSIONES
Cementació, Tremp, Revingut			Vanadis 4 Extra		162x \varnothing 28



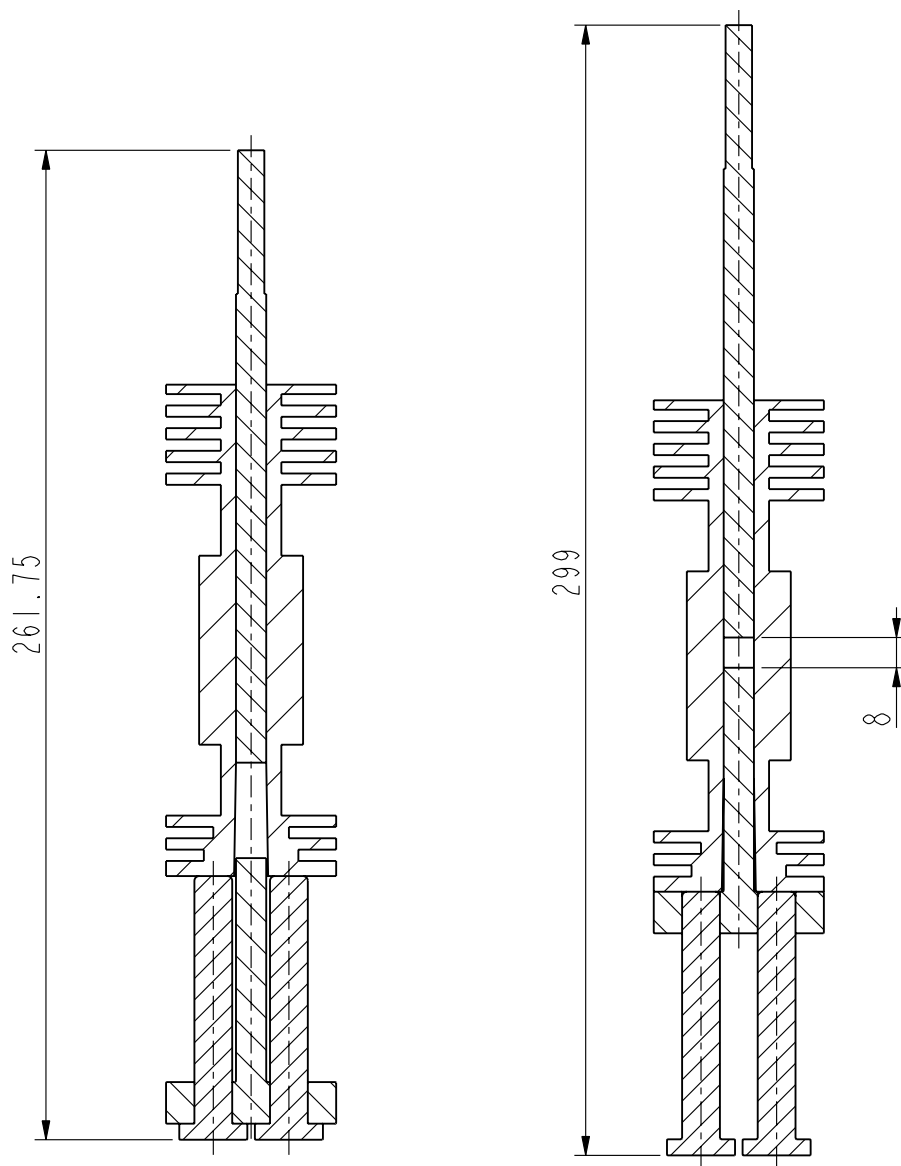
	FECHA	NOMBRE	CANTIDAD:	1	U.A.B.
DIBUJADO	13-11-06	Iu Morales	PESO (kg):	0.147	
APROBADO	15-11-06	Iu Morales	HOJA:	3 de 6	
PROYECTO			DENOMINACION PLANO		ESCALA
DISPOSITIU DE COMPACTACIÓ			PUNXO_INFERIOR		1:1
TRATAMIENTO			MATERIAL		DIMENSIONES
Cementació, Tremp, Revingut			Vanadis 4 Extra		80xØ46



	FECHA	NOMBRE	CANTIDAD: 2	U.A.B.	
DIBUJADO	13-11-06	Iu Morales	PESO (kg): 0.049		
APROBADO	15-11-06	Iu Morales	HOJA: 4 de 6		
PROYECTO			DENOMINACION PLANO		ESCALA
DISPOSITIU DE COMPACTACIÓ			PUNXO_EXTRACTOR		1:1
TRATAMIENTO			MATERIAL		DIMENSIONES
Cementació, Tremp, Revingut			Vanadis 4 Extra		80xØ23.5



	FECHA	NOMBRE	CANTIDAD: 1	U.A.B.	
DIBUJADO	13-11-06	Iu Morales	PESO (kg): 0.000		
APROBADO	15-11-06	Iu Morales	HOJA: 5 de 6		
PROYECTO			DENOMINACION PLANO		ESCALA
DISPOSITIU DE COMPACTACIÓ			CONJUNT_DISPOSITIU		1:2
TRATAMIENTO			MATERIAL		DIMENSIONES
- - -			- - -		- - -



	FECHA	NOMBRE	CANTIDAD:	1	U.A.B.
DIBUJADO	13-11-06	Iu Morales	PESO (kg):	0.000	
APROBADO	15-11-06	Iu Morales	HOJA:	6 de 6	
PROYECTO			DENOMINACION PLANO		ESCALA
DISPOSITIU DE COMPATACIÓ			CONJUNT_DISPOSITIU_EXTRACCIO		1:2
TRATAMIENTO			MATERIAL		DIMENSIONES
-			-		-

Annex B.- VANADIS EXTRA 4.

Propiedades críticas del acero para obtener

UN BUEN RENDIMIENTO DEL UTILLAJE

- Dureza correcta para la aplicación concreta
- Alta resistencia al desgaste
- Alta ductilidad

La alta resistencia al desgaste se asocia habitualmente con la baja tenacidad y ductilidad y viceversa. En muchos casos la alta resistencia al desgaste y la resistencia a las melladuras o roturas es esencial para obtener un rendimiento óptimo del utillaje.

Vanadis 4 Extra es un acero pulvimetalúrgico para trabajo en frío que ofrece una combinación extremadamente buena de resistencia al desgaste y ductilidad para utillajes de alto rendimiento.

FABRICACIÓN DEL UTILLAJE

- Buena aptitud de mecanizado
- Tratamiento térmico
- Estabilidad dimensional durante el tratamiento térmico

La fabricación de utillajes con aceros de alta aleación ha creado tradicionalmente problemas con el mecanizado y el tratamiento térmico, comparado con las calidades de baja aleación, habitualmente ello conlleva un incremento de los costos de fabricación del utillaje.

Gracias al cuidadoso equilibrio en su aleación y el proceso de producción pulvimetalúrgico empleado, Vanadis 4 Extra cuenta con una mejor capacidad de mecanizado que la calidad de acero 1.2379 (AISI D2).

Una gran ventaja con Vanadis 4 Extra es que la estabilidad dimensional después del temple y revenido, es mucho mejor que la de todos los aceros conocidos de alto rendimiento para trabajo en frío. Ello significa por ejemplo, que Vanadis 4 Extra es un acero muy adecuado para el recubrimiento CVD.

Información general

Vanadis 4 Extra es un acero aleado al cromo-molibdeno-vanadio que se caracteriza por:

- Muy buena ductilidad
- Alta resistencia al desgaste abrasivo–adhesivo
- Alta resistencia a la compresión
- Buena estabilidad dimensional durante el tratamiento térmico y en servicio
- Buenas propiedades de temple
- Muy buena resistencia contra la pérdida de dureza durante el trabajo
- Buena aptitud de mecanizado y rectificado

Análisis típico %	C 1,4	Si 0,4	Mn 0,4	Cr 4,7	Mo 3,5	V 3,7
Estado de suministro	Recocido blando a aprox. 230 HB					
Código de color	Verde/Blanco con línea negro transversal					

Aplicaciones

Vanadis 4 Extra es un acero especialmente adecuado en aplicaciones en las que el desgaste adhesivo y/o melladuras son los mecanismos de fallo dominantes, es decir:

- Con materiales blandos/adherentes como el acero inoxidable martensítico, acero dulce, cobre, aluminio, etc, como material de trabajo
- Con material de trabajo grueso
- Materiales de trabajo de alta resistencia

Vanadis 4 Extra es también un acero adecuado para corte y conformado de chapa de acero de alta resistencia, UHSS, éstos materiales exigen grandes requisitos al acero para utillajes, tanto en resistencia al desgaste abrasivo como en ductilidad.

Algunos ejemplos

- Corte y conformado
- Corte fino
- Utillajes para extrusión en frío
- Compactación de polvo
- Embutición profunda
- Cuchillas
- Substrato para recubrimiento de superficie

Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS

Material templado y revenido a 60 HRC

Temperatura	20°C	200°C	400°C
Densidad kg/m ³	7 700	–	–
Módulo de elasticidad N/mm ²	206 000	200 000	185 000
Coefficiente de expansión térmica por °C a partir de 20°C	–	10,9 x 10 ⁻⁶	11,7 x 10 ⁻⁶
Conductividad térmica W/m · °C	–	30	30
Calor específico J/kg °C	460	–	–

RESISTENCIA AL IMPACTO

Resistencia al impacto aproximada a temperatura ambiente a distintas temperaturas de revenido.

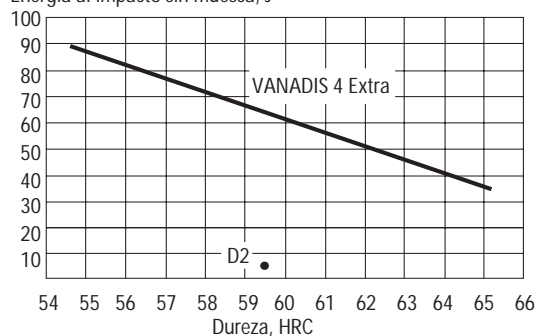
Dimensión original de la barra: Ø 105 mm, las probetas son tomadas del centro de la barra y probadas en dirección transversal.

Tamaño de la probeta: 7 x 10 x 55 mm sin muesca

Templado durante 30 minutos, entre 940°C y 1150°C, por encima de 1100°C durante 15 minutos. Enfriamiento al aire. Revenido 2 x 2h entre 525°C y 570°C

Diferencia en ductilidad entre Vanadis 4 Extra y 1.2379 (D2) a distintos niveles de dureza

Energía al impacto sin muesca, J



Tratamiento térmico

RECOCIDO BLANDO

Proteger el acero y calentar en toda su masa hasta alcanzar los 900°C. Luego enfriar en el horno a 10°C por hora hasta alcanzar los 750°C, después dejar enfriar libremente al aire.

LIBERACIÓN DE TENSIONES — ESTABILIZADO

Una vez realizado el mecanizado de desbaste el utillaje deberá calentarse en toda su masa a 650°C, tiempo de mantenimiento 2 horas. Enfriar lentamente hasta alcanzar los 500°C, luego libremente al aire.

TEMPLE

Temperatura de precalentamiento: 600–700°C

Temperatura de austenización: 940–1150°C, normalmente 1020°C. Para grandes secciones >70mm utilizar 1060°C.

Tiempo de mantenimiento: 30 minutos hasta 1100°C, y 15 minutos por encima de 1100°C.

Tiempo de mantenimiento = tiempo a temperatura de temple una vez el utillaje ha sido calentado en toda su masa. Un tiempo de mantenimiento inferior al recomendado anteriormente puede resultar en una pérdida de dureza.

Proteger la pieza contra decarburación y oxidación durante el proceso de templado

MEDIOS DE ENFRIAMIENTO

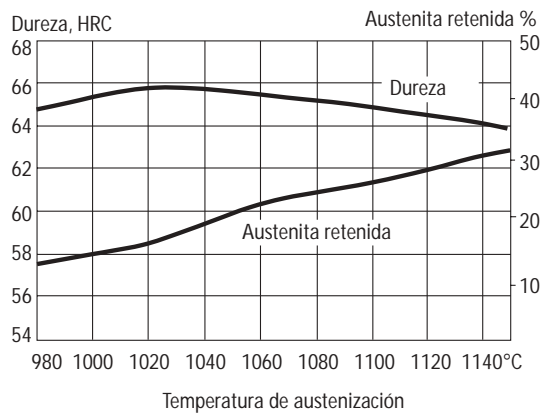
- Vacío (gas a alta velocidad con suficiente presión positiva).
- Baño de martemple, o lecho fluidizado a 500–550°C.
- Baño de martemple, o lecho fluidizado a 200–350°C.

Nota 1: Revenir el utillaje tan pronto su temperatura alcance los 50–70°C.

Nota 2: A fin de obtener las óptimas propiedades para el utillaje, el nivel de enfriamiento debería ser lo más rápido posible dentro de los límites aceptables de distorsión.

Nota 3: El martemple debería estar seguido por un enfriamiento por aire forzado si el espesor de la pared excede los 70 mm.

Dureza y austenita retenida en función de la temperatura de austenización



REVENIDO

La temperatura de revenido puede seleccionarse de acuerdo con la dureza requerida empleando como guía el gráfico de revenido que se muestra a continuación.

Revenir dos veces con un enfriamiento intermedio hasta alcanzar la temperatura ambiente.

La temperatura mínima de revenido que debería utilizarse es de 525°C, y tiempo mínimo de mantenimiento a temperatura, 2 horas. A fin de no reducir la tenacidad, no revenir por debajo de 525°C. Para evitar un contenido demasiado elevado de austenita retenida se recomienda una temperatura de revenido por encima de los 525°C

Gráficos de revenido

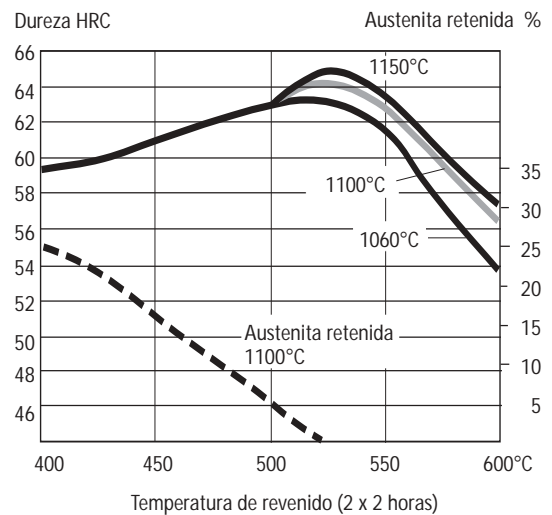
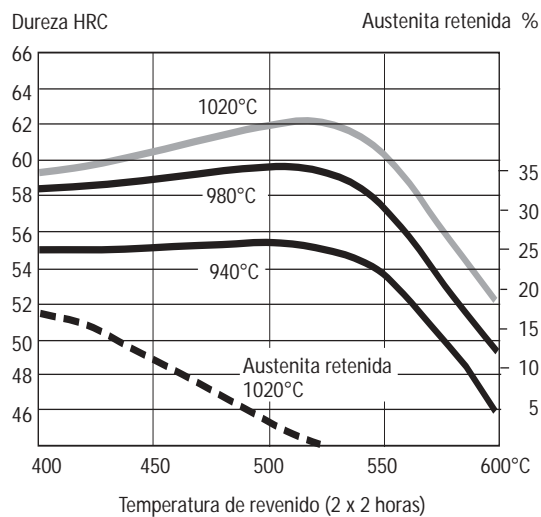


Gráfico CCT

Temperatura de austenización 1020 fC. Tiempo de mantenimiento 30 minutos.

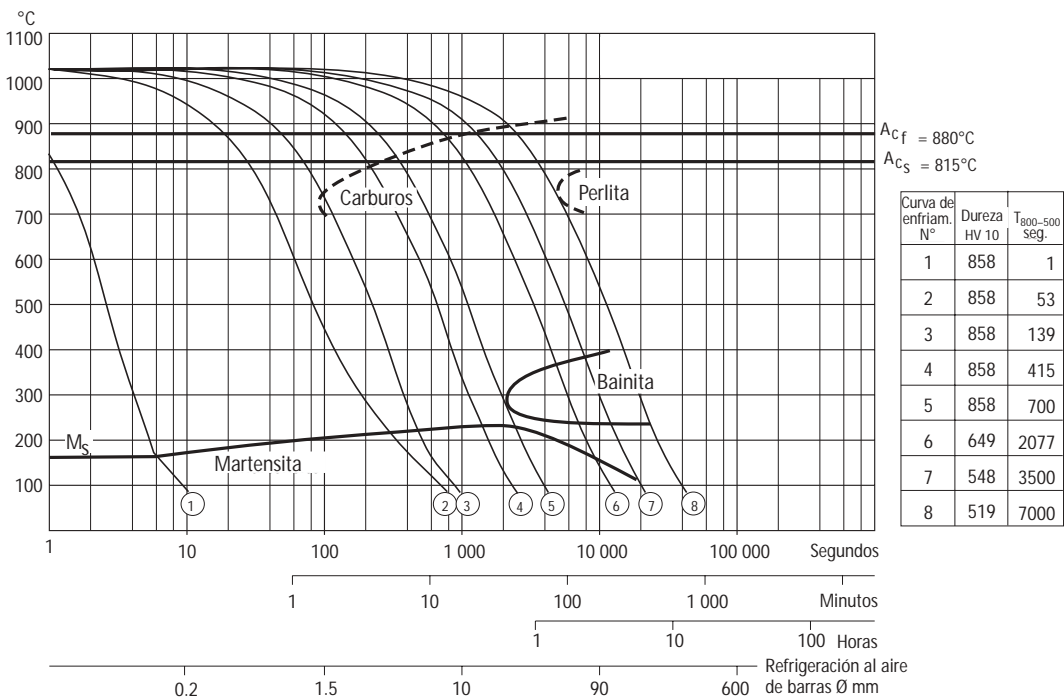
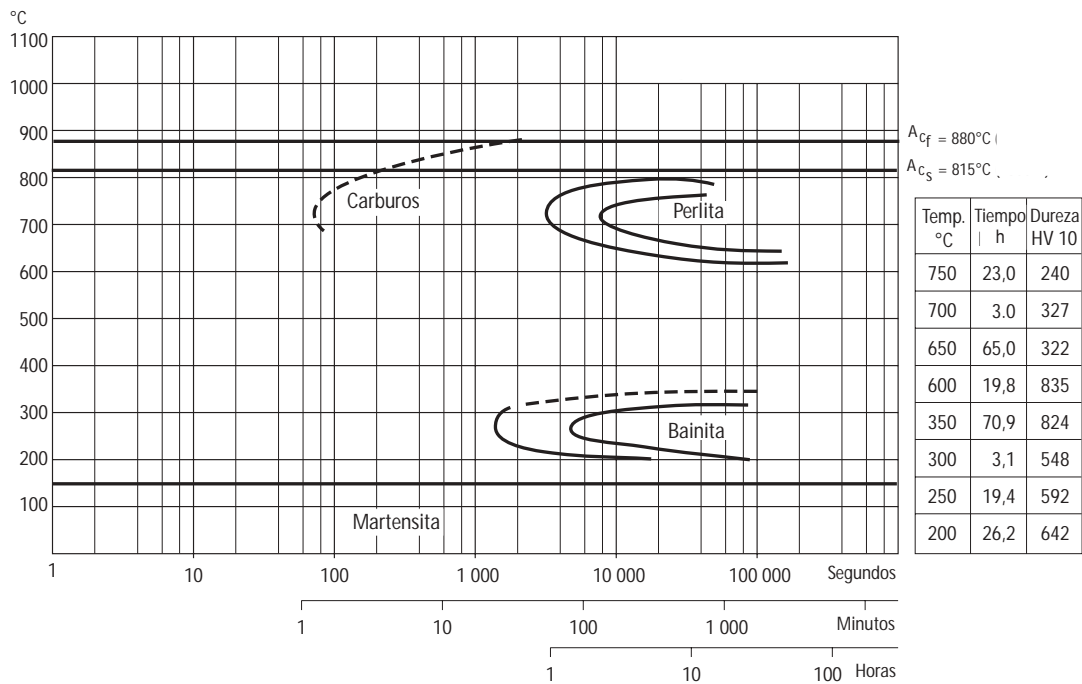


Gráfico TTT

Temperatura de austenización 1020°C. Tiempo de mantenimiento 30 minutos.



CAMBIOS DIMENSIONALES DURANTE EL TEMPLE Y REVENIDO

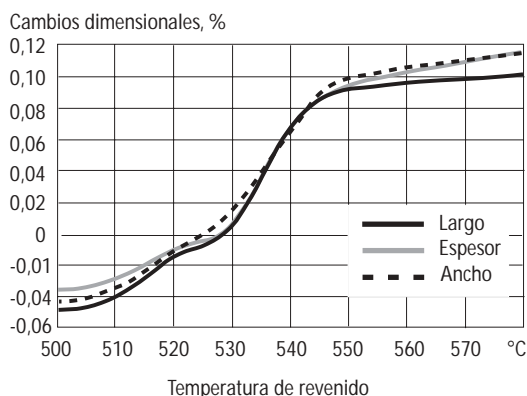
Los cambios dimensionales han sido medidos después de la austenización y revenido.

Austenización: 1020°C/30 min, enfriamiento en horno de vacío a 1,1°C/s entre 800°C y 500°C.

Revenido: 2 x 2 h a varias temperaturas.

Tamaño de la probeta: 80 x 80 x 80 mm

Cambios dimensionales en largo, ancho y espesor durante de temple y revenido, en largo, ancho y espesor.



TRATAMIENTO SUB-CERO

Las piezas que requieran la máxima estabilidad dimensional pueden ser tratadas mediante el método sub- cero en la forma siguiente:

Inmediatamente después del enfriamiento la pieza debe ser tratada sub-cero de -70 a -80°C, tiempo de inmersión de 3-4 horas, seguido de un revenido. La temperatura de revenido debe reducirse 25°C a fin de obtener la dureza deseada cuando se realiza un revenido a alta temperatura.

Evitar las formas complicadas puesto que implica riesgo de roturas.

Tratamientos de superficie

A algunos aceros para trabajo en frío se les aplica una tratamiento de superficie a fin de reducir la fricción e incrementar la resistencia al desgaste. Los tratamientos de superficie más comunes son la nitruración y los tratamientos de superficie con recubrimientos resistentes al desgaste producidos mediante PVD o CVD.

La alta dureza y tenacidad juntamente con una buena estabilidad dimensional hacen que Vanadis 4 Extra sea un acero sustrato ideal para distintos tipos de recubrimientos de superficie.

NITRURACIÓN

La nitruración aporta en una capa dura en la superficie que es muy resistente al desgaste y a la erosión.

Normalmente Vanadis 4 Extra se reviene a alta temperatura, a 525°C. Ello significa que la temperatura de nitruración utilizada no debería exceder los 500-525°C. La nitruración iónica a una temperatura inferior a la temperatura de revenido utilizada es la más recomendable.

La dureza de la superficie después de realizada la nitruración es de aproximadamente de 1150 HV_{0,2kg}. El espesor de la capa deberá seleccionarse según la aplicación en cuestión.

PVD

La deposición física de vapor, PVD, es el método que consiste en aplicar un recubrimiento resistente al desgaste a temperaturas entre 200-500°C.

CVD

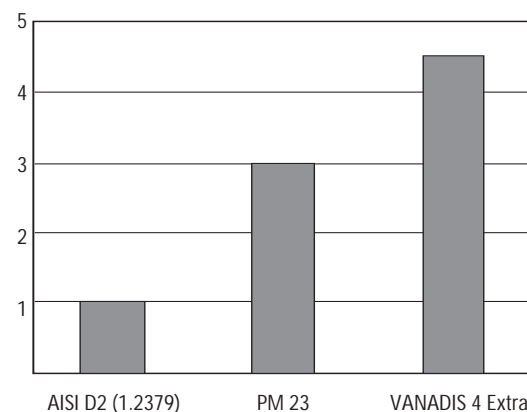
La deposición química de vapor (CVD) se utiliza para aplicar un recubrimiento resistente al desgaste a una temperatura aproximada de 1000°C.

Es recomendable que los utillajes se templen por separado en un horno de vacío una vez realizado el tratamiento de superficie.

Capacidad de mecanizado

Capacidad relativa de mecanizado y rectificado para AISI D2 (1.2379), PM 23 y Vanadis 4 Extra. Un alto valor indica buena capacidad de mecanizado y rectificado.

Capacidad relativa de mecanizado/rectificado, (1=peor 5=mejor)



Recomendaciones de mecanizado

Los parámetros de corte de los cuales informamos a continuación, deberán considerarse como valores guía, que deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

Estado de suministro: recocido blando
a ~230 HB

TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con herramientas de metal duro		Torneado con acero
	Torneado de desbaste	Torneado de acabado	Torneado de acabado
Velocidad de corte (v_c) m/min.	120–170	170–220	15–20
Avance (f) mm/r	0,2–0,4	0,05–0,2	0,05–0,3
Profundidad de corte (a_p) mm	2–4	0,5–2	0,5–3
Designación broca ISO	K20*, P20*	K15*, P15*	–

*Utilizar metal duro resistente al desgaste con recubrimiento CVD

TALADRADO

Taladrado con brocas espirales de acero rápido

Diámetro de la broca mm	Velocidad de corte (v_c) m/min	Avance (f) mm/r
– 5	12–14*	0,05–0,15
5–10	12–14*	0,15–0,25
10–15	12–14*	0,25–0,30
15–20	12–14*	0,30–0,35

* Para brocas de acero rápido con recubrimiento $v_c = 22–24$ m/min

Taladrado con brocas de metal duro

Parámetros de corte	Tipo de broca		
	Metal duro insertado	Metal duro sólido	Broca con refrigeración ¹⁾
Velocidad de corte (v_c) m/min.	140–160	80–100	50–60
Avance (f) mm/r	0,05–0,15 ²⁾	0,10–0,25 ²⁾	0,15–0,25 ²⁾

¹⁾ Broca con canales de refrigeración interna

²⁾ Dependiendo del diámetro de la broca

FRESADO

Fresado frontal y axial

Parámetros de corte	Fresado con herramientas de metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado fino
Velocidad de corte (v_c) m/min.	110–150	150–200
Avance (f_z) mm/diente	0,2–0,4	0,1–0,2
Profundidad de corte (a_p) mm	2–4	– 2
Designación ISO	K20, P20 Carburo revestido*	K15, P15 Carburo revestido*

*Utilizar metal duro resistente al desgaste con recubrimiento CVD

Fresado de acabado

Parámetros de corte	Tipo de fresa		
	Metal duro	Metal duro insertado	Acero rápido ¹⁾
Velocidad de corte (v_c) m/min.	60–80	110–160	8–12
Avance (f_z) mm/diente	0,03–0,20 ²⁾	0,08–0,20 ²⁾	0,05–0,35 ²⁾
Designación ISO	–	K15 ³⁾	–

¹⁾ Para fresas de acero rápido con recubrimiento $v_c = 18–24$ m/min.

²⁾ Dependiendo de la profundidad radial y diámetro de corte

³⁾ Utilizar metal duro resistente al desgaste con recubrimiento CVD

RECTIFICADO

A continuación ofrecemos unas recomendaciones generales de rectificado. Pueden obtener más información en la publicación de Uddeholm «Rectificado de Acero para Utillajes».

Tipo de rectificado	Estado recocido blando	Condición templada
Rectificado frontal muela plana	A 46 HV	B151 R50 B3 ¹⁾ A 46 HV ²⁾
Rectificado frontal por segmentos	A 24 GV	A46 FV A46 FV ²⁾
Rectificado cilíndrico	A 60 KV	B151 R75 B3 ¹⁾ A 60 KV ²⁾
Rectificado interno	A 60 JV	B151 R75 B3 ¹⁾ A 60 KV ²⁾
Rectificado de perfil	A 100 LV	B126 R100 B6 ¹⁾ A 80 JV ²⁾

¹⁾ Si es posible utilizar muelas CBN para esta aplicación

²⁾ Se recomienda utilizar muelas de rectificado que contengan abrasivo del tipo sinterizado

EDM Mecanizado por electroerosión

Si se realiza el mecanizado por electroerosión en condición templado y revenido, acabar con una «electroerosión fina», es decir a baja corriente y alta frecuencia.

Para obtener un rendimiento óptimo, la superficie electroerosionada deberá rectificarse / pulirse, y el utillaje revenirse de nuevo aproximadamente 25°C por debajo de la temperatura original de revenido.

Al electroerosionar piezas grandes o formas complicadas, Vanadis 4 Extra deberá revenirse a altas temperaturas, por encima de los 500°C.

Comparación relativa de los aceros de Uddeholm para aplicaciones de trabajo en frío

PROPIEDADES DEL MATERIAL Y RESISTENCIA A LOS MECANISMOS DE FALLO

Calidad Uddeholm	Dureza/ Resistencia a la deforma- ción plástica	Mecani- bilidad	Rectifica- bilidad	Estabilidad dimensional	Resistencia al desgaste abrasivo desgaste adhesivo		Resistencia a la fatiga – rotura Ductilidad/ Resistencia a las melladuras Tenacidad / grandes rotura	
ARNE								
CALMAX								
CALDIE								
RIGOR								
SLEIPNER								
SVERKER 21								
SVERKER 3								
VANADIS 4 Extra								
VANADIS 6								
VANADIS 10								
VANADIS 23								
VANADIS 30								
VANADIS 60								
AISI M:2								

Annex C.- ALBARÀ UDDEHOLM.

**UDDEHOLM****Soluciones en Acero Sueco****SERVICIOS ASISTENCIA AL CLIENTE**

BARCELONA
C/ Guifré, 686-692
08918 BADALONA
Tel. 93 460 12 27
Fax 93 460 05 58

BILBAO
Barrio San Martín de Arteaga, 132, 1.º
Polígono Industrial Torrelarragoiti
48170 ZAMUDIO (BIZKAIA)
Tel. 94 452 13 03
Fax 94 452 13 58

CLIENTE

Página 1 / 2

UNIVERSITAT AUTONOMA DE BARCELONA
Dpto.Física/Física de Materials 2
EDIFICI Cc, CAMPUS DE LA UAB
08193 BELLATERRA-CERDANYOLA
BARCELONA

Fecha albarán 30.11.2006
Nº pedido: 84901476
Fecha de pedido: 29.11.2006
Nº de cliente: 34709970
Nº pedido cliente: X IU MORALES
Nº proveedor:
Oficina de ventas: Uddeholm Barcelona
Cond. de entrega: Nuestro camión con carg
Transportista: NUESTRO CAMION

Destinatario de mercancías:
FERRO - MECANICA, S.A.
P.I. STA. EULALIA SUD
VIAL D NAU 13
08223 TERRASSA

Albarán Nº 89005744

PEDIDO POR IU MORALES (ESTUDIANTE INGENIERIA MATERIALES) PROYECTO MATRIZ COMPACTACION DE POLVO

Peso Neto: 4,500 KG Nº de Bultos: 4
Peso Bruto: 4,500 KG

Pos.	Material, Calidad Acabado, Dimensiones, Cantidad	Precio	Valor EUR
000010	74017163 VANADIS 4 Extra redonda 46 mm x 80 mm 1,0 KG 1 PZA Recargo por aleación Recargo por chatarra Recargo por corte	29,00 EUR/KG 4.120,00 EUR/TM 70,00 EUR/TM 5,65 EUR/CTE	29,00 4,12 0,07 5,65
000020	74017163 VANADIS 4 Extra redonda 46 mm x 133 mm 2,0 KG 1 PZA Recargo por aleación Recargo por chatarra Recargo por corte	29,00 EUR/KG 4.120,00 EUR/TM 70,00 EUR/TM 5,65 EUR/CTE	58,00 8,24 0,14 5,65
000030	74017158 VANADIS 4 Extra redonda 28 mm x 162 mm 1,0 KG 1 PZA Recargo por aleación Recargo por chatarra Recargo por corte	30,62 EUR/KG 4.120,00 EUR/TM 70,00 EUR/TM 5,65 EUR/CTE	30,62 4,12 0,07 5,65

**UDDEHOLM**

es una división de
BÖHLER UDDEHOLM IBÉRICA, S.A.
C/ Guifré, 686-692
08918 Badalona
www.acerosuddeholm.com



NUESTRO SISTEMA DE CALIDAD ES CONFORME A
LOS REQUISITOS DE LA NORMA UNE-EN-ISO 9001:2000

**UDDEHOLM****Soluciones en Acero Sueco****SERVICIOS ASISTENCIA AL CLIENTE****BARCELONA**

C/ Guifré, 686-692
08918 BADALONA
Tel. 93 460 12 27
Fax 93 460 05 58

BILBAO

Barrio San Martín de Arteaga, 132, 1.º
Polígono Industrial Torrelarragoiti
48170 ZAMUDIO (BIZKAIA)
Tel. 94 452 13 03
Fax 94 452 13 58

CLIENTE

UNIVERSITAT AUTONOMA DE BARCELONA
Dpto.Física/Física de Materials 2
EDIFICI Cc, CAMPUS DE LA UAB
08193 BELLATERRA-CERDANYOLA
BARCELONA

Fecha/Nº Doc
30.11.2006 / 89005744

Página 2 / 2

Peso Neto: 4,500 KG Nº de Bultos: 4
Peso Bruto: 4,500 KG

Pos.	Material, Calidad Acabado, Dimensiones, Cantidad	Precio	Valor EUR
000040	74017156 VANADIS 4 Extra redonda 23,5 mm x 80 mm 0,5 KG 2 PZA	30,62 EUR/KG	15,31
	Recargo por aleación	4.120,00 EUR/TM	2,06
	Recargo por chatarra	70,00 EUR/TM	0,04
	Recargo por corte	5,65 EUR/CTE	11,30
Total posiciones			180,04
Recargo Transporte			13,50
IVA			30,97
Valor total			224,51

**UDDEHOLM**

es una división de
BÖHLER UDDEHOLM IBÉRICA, S.A.
C/ Guifré, 686-692
08918 Badalona
www.acerosuddeholm.com



NUESTRO SISTEMA DE CALIDAD ES CONFORME A
LOS REQUISITOS DE LA NORMA UNE-EN-ISO 9001:2000

Annex D.- ALBARÀ FERRO-MECÀNICA S.A.



ferro-mecànica, s.a.

Pol. Ind. Santa Eulàlia Sud - Vial D, Nau 13 Teléf. 93 785 69 58
08223 TERRASSA Fax 93 783 95 53
E-mail : ferromecanica@ferromecanica.com

ALBARÀ Nº 206500

DEPARTAMENT DE FÍSICA - Física de Materials
Universitat Autònoma de Barcelona - Edifici C
08193 BELLATERRA

DATA 29-01-07

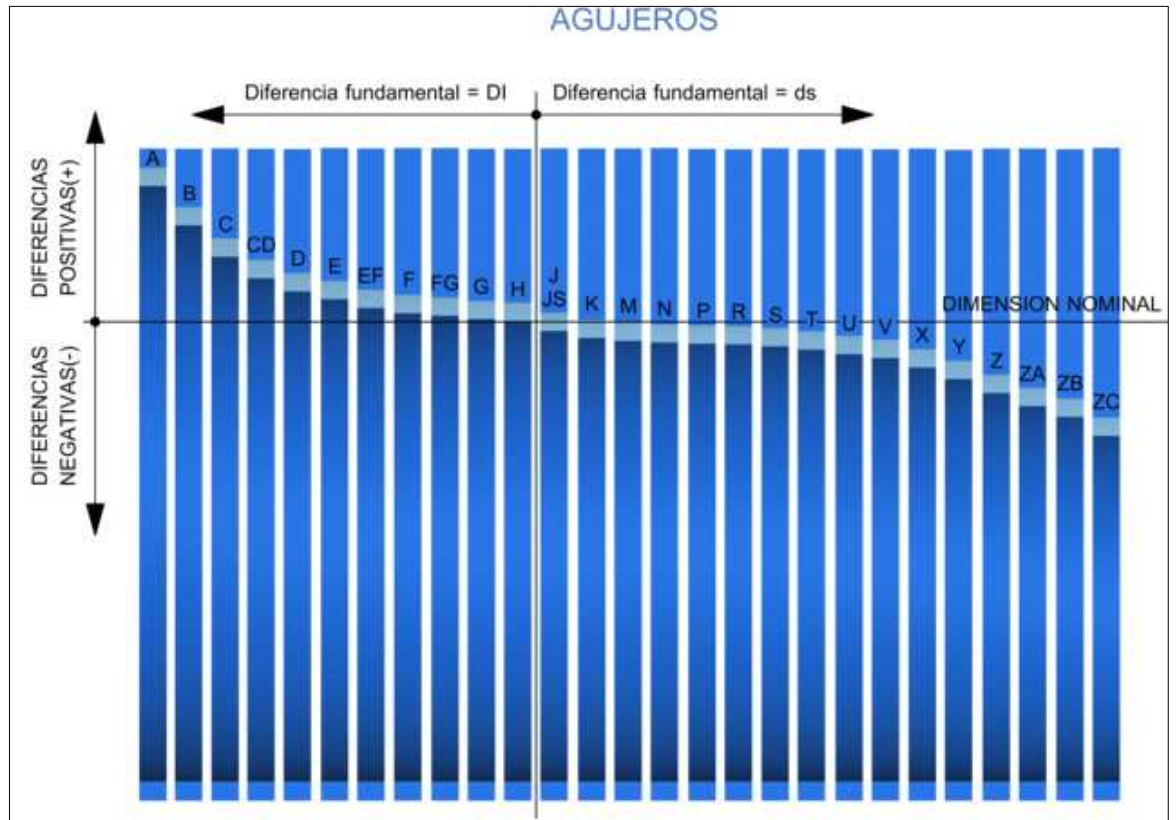
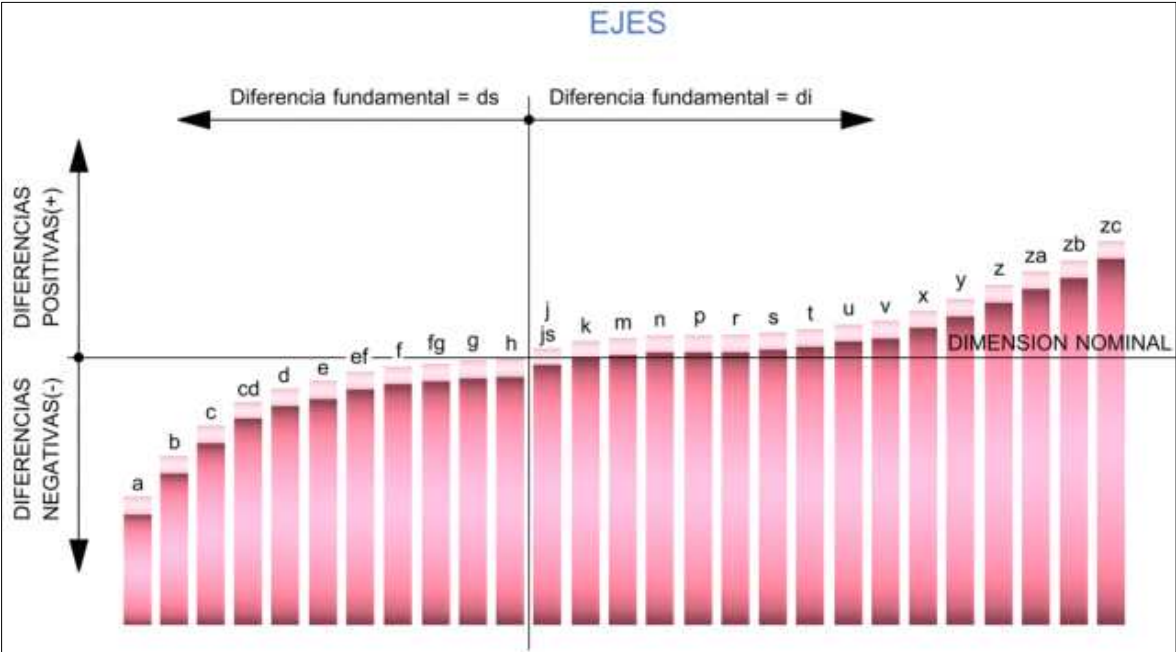
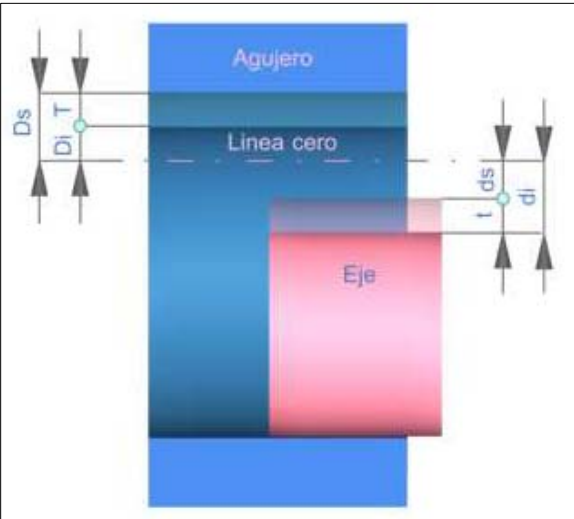
PROV. Nº

Concepte	Preu €	Total €
Mecanització, tractaments i rectificat, s/plànols		
2 Punxons extractor		
1 Matriu		
1 Punxó inferior		
1 Punxó superior	953,72	953,72
s/comanda: Sr. Santiago Suriñach		

TOTAL ALBARÀ EUROS

953,72

Annex E.- TAULES DE TOLERÀNCIES.



Grupos de diámetros (mm.)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
d ?3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3 ?d ?6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6 ?d ?10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10 ?d ?18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18 ?d ?30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30 ?d ?50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50 ?d ?80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80 ?d ?120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120 ?d ?180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180 ?d ?250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250 ?d ?315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315 ?d ?400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400 ?d ?500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
	Ultraprecisión		Calibre y piezas de gran precisión			Piezas o elementos destinados a ajustar								Piezas o elementos que no han de ajustar				

TABLA I. Valores numéricos de amplitudes de zonas de tolerancia

Posición	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc					
Calidad	Todas las calidades											5 y 6	7	8	≥ 4 ≤ 7	< 4 > 7	Todas las calidades																		
Diferencia fundamental	Diferencia superior ds											Diferencia inferior di																							
d≤3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60					
3<d≤6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4	-	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80					
6<d≤10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	-	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97					
10<d≤14	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0	-3	-6	-	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130					
14<d≤18																								+39	+45	-	+60	+77	+108	+150					
18<d≤24	-300	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0	-4	-8	-	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188					
24<d≤30																						+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218					
30<d≤40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0	-5	-10	-	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274					
40<d≤50	-320	-180	-130																			+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325					
50<d≤65	-340	-190	-140	-	-100	-60	-	-30	-	-10	0	-7	-12	-	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405					
65<d≤80	-360	-200	-150																			+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480			
80<d≤100	-380	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0	-9	-15	-	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585					
100<d≤120	-410	-240	-180																			+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690			
120<d≤140	-460	-260	-200																			+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800			
140<d≤160	-520	-280	-210	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0	-11	-18	-	+3	0	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900					
160<d≤180	-580	-310	-230																			+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000			
180<d≤200	-660	-340	-240																			+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150			
200<d≤225	-740	-380	-260	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0	-13	-21	-	+4	0	+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250					
225<d≤250	-820	-420	-280																			+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350			
250<d≤280	-920	-460	-300	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0	-16	-26	-	+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550					
280<d≤315	-1050	-540	-330																			+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700			
315<d≤355	-1200	-600	-360	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0	-18	-28	-	+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900					
355<d≤400	-1350	-680	-400																			+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100			
400<d≤450	-1500	-760	-440	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-	+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400					
450<d≤500	-1650	-840	-480																			+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600			

Para la posición js, di = - IT/2 y ds = IT/2

TABLA II. Diferencias fundamentales para ejes (en micras)

Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js
Calidad	Todas las calidades											
Diámetro	Diferencia inferior Di											
d 3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	IT/2
3 d 6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0	
6 d 10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0	
10 d 18	290	150	95		50	32		16		6	0	
18 d 30	300	160	110		65	40		20		7	0	
30 d 40	310	170	120		80	50		25		9	0	
40 d 50	320	180	130									
50 d 65	340	190	140		100	60		30		10	0	
65 d 80	360	200	150									
80 d 100	380	220	170		120	72		36		12	0	
100 d 120	410	240	180									
120 d 140	460	260	200									
140 d 160	520	280	210		145	85		43		14	0	
160 d 180	580	310	230									
180 d 200	660	340	240									
200 d 225	740	380	260		170	100		50		15	0	
225 d 250	820	420	280									
250 d 280	920	480	300		190	110		56		17	0	
280 d 315	1050	540	330									
315 d 335	1200	600	360		210	125		62		18	0	
335 d 400	1350	680	400									
400 d 450	1500	760	440		230	135		68		20	0	
450 d 500	1650	840	480									

Posición	J			K				M					N					P			
Calidad	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	5	6	7	
Diámetro	Diferencia superior Ds																				
d 3	2	4	6	0	0	0	0	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	6	6	6	6
3 d 6	5	6	10	0	2	3	5	3	1	0	2	4	7	5	4	2	0	11	9	8	12
6 d 10	5	8	12	1	2	5	6	4	3	0	1	6	8	7	4	3	0	13	12	9	15
10 d 18	6	10	15	2	2	6	8	4	4	0	2	7	9	9	5	3	0	15	15	11	18
18 d 30	8	12	20	1	2	6	10	5	4	0	4	8	12	11	7	3	0	19	18	14	22
30 d 40	10	14	24	2	3	7	12	5	4	0	5	9	13	12	8	3	0	22	21	17	26
40 d 50																					
50 d 65	13	18	28		4	9	14	6	5	0	5	11	15	14	9	4	0	27	26	21	32
65 d 80																					
80 d 100	16	22	34	2	4	10	16	8	6	0	6	13	18	16	10	4	0	32	30	24	37
100 d 120																					
120 d 140																					
140 d 160	18	26	41	3	4	12	20	9	8	0	8	15	21	20	12	4	0	37	36	28	43
160 d 180																					
180 d 200																					
200 d 225	22	30	47	2	5	13	22	11	8	0	9	17	25	22	14	5	0	44	41	33	50
225 d 250																					
250 d 280	25	36	55	3	5	16	25	13	9	0	9	20	27	25	14	5	0	49	47	36	56
280 d 315																					
315 d 335	29	39	60	3	7	17	28	14	10	0	11	21	30	26	16	5	0	55	51	41	62
335 d 400																					
400 d 450	33	43	66	2	8	18	29	16	10	0	11	23	33	27	17	6	0	61	55	45	68
450 d 500																					


Tabla III. Diferencias fundamentales para agujeros (en micras).

Posición	R				S				T				U			
Calidad	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
Diámetro	Diferencia superior Ds															
d 3	10	10	10	10	14	14	14	14					18	18	18	18
3 d 6	14	12	11	15	18	16	15	19					22	20	19	23
6 d 10	17	16	13	19	21	20	17	23					26	25	22	28
10 d 14	20	20	16	23	25	25	21	28					30	30	26	33
14 d 18																
18 d 24	25	24	20	28	32	31	27	35					38	37	33	41
24 d 30																
30 d 40	30	29	25	34	39	38	34	43	38	37	33	41	45	44	40	48
40 d 50																
50 d 65	36	35	30	41	48	47	42	53	61	60	55	66	82	81	76	87
65 d 80	38	37	32	43	54	53	48	59	70	69	64	75	97	96	91	102
80 d 100	46	44	38	51	66	64	58	71	86	84	78	91	119	117	111	124
100 d 120	49	47	41	4	74	72	66	79	99	97	91	104	139	137	131	144
120 d 140	57	56	48	63	86	85	77	92	116	115	107	122	164	163	155	170
140 d 160	59	58	50	65	94	93	85	100	128	127	119	134	184	183	175	190
160 d 180	62	61	53	68	02	101	93	108	140	139	131	146	204	203	195	210
180 d 200	71	68	60	77	116	113	105	122	160	157	149	166	230	227	219	236
200 d 225	74	71	63	80	124	121	113	130	174	171	163	180	252	249	241	258
225 d 250	78	75	67	84	134	131	123	140	190	187	179	196	278	275	267	284
250 d 280	87	85	74	94	151	149	138	158	211	209	198	218	308	306	295	315
280 d 315	91	89	78	98	163	161	150	170	233	231	220	240	343	341	330	350
315 d 355	101	97	87	108	183	179	169	190	261	257	247	268	383	379	369	390
355 d 400	107	103	93	114	201	197	187	208	287	283	273	294	428	424	414	435
400 d 450	119	113	103	126	225	219	209	232	323	317	307	330	483	477	467	490
450 d 500	125	119	109	132	245	239	229	252	353	347	337	360	533	527	517	540

Posición	V				X				Y			Z			IA		B	IC
Calidad	5	6	7	8	5	6	7	8	6	7	8	6	7	8	7	8	8	8
Diámetro	Diferencia superior Ds																	
d 3					20	20	20	20				26	26	26	32	32	40	60
3 d 6					27	25	24	28				32	31	35	38	42	50	80
6 d 10					32	31	28	34				39	36	42	46	52	67	97
10 d 14					37	37	33	40				47	43	50	57	64	90	130
14 d 18	36	36	32	39	42	42	38	45				57	53	60	70	77	108	150
18 d 24	44	43	39	47	51	50	46	54	59	55	63	69	65	73	90	98	136	188
24 d 30	52	51	47	55	61	60	56	64	71	67	75	84	80	88	110	118	160	218
30 d 40	64	63	59	68	76	75	71	80	89	85	94	107	103	112	139	148	200	274
40 d 50	77	76	72	81	93	92	88	97	109	105	114	131	127	136	171	180	242	325
50 d 65	97	96	91	102	117	116	111	122	138	133	144	166	161	172	215	226	300	405
65 d 80	115	114	109	120	141	140	135	146	168	163	174	204	199	210	263	274	360	480
80 d 100	141	139	133	146	173	171	165	178	207	201	214	251	245	258	322	335	445	585
100 d 120	167	165	159	172	205	203	197	210	247	241	254	303	297	310	387	400	525	690
120 d 140	196	195	187	202	242	241	233	248	293	285	300	358	350	365	455	470	620	800
140 d 160	222	221	213	228	274	273	265	280	333	325	340	408	400	415	520	535	700	900
160 d 180	246	245	237	252	304	303	295	310	373	365	380	458	450	465	585	600	780	1000
180 d 200	278	275	267	284	344	341	333	350	416	408	425	511	503	520	653	670	880	1150
200 d 225	304	301	293	310	379	376	368	385	461	453	470	566	558	575	723	740	960	1250
225 d 250	334	331	323	340	419	416	408	425	511	503	520	631	623	640	803	820	1050	1350
250 d 280	378	376	365	385	468	466	455	475	571	560	580	701	690	710	900	920	1200	1550
280 d 315	418	416	405	425	518	516	505	525	641	630	650	781	770	790	980	1000	1300	1700
315 d 355	468	464	454	475	583	579	569	590	719	709	730	889	879	900	1129	1150	1500	1900
355 d 400	523	519	509	530	653	649	639	660	809	799	820	989	979	1000	1279	1300	1650	2100
400 d 450	588	582	572	595	733	727	717	740	907	897	920	1087	1077	1100	1427	1450	1850	2400
450 d 500	653	647	637	660	813	807	797	820	987	977	1000	1237	1227	1250	1577	1600	2100	2600


Tabla III (continuación). Diferencias fundamentales para agujeros (en micras).

Annex F.- PROTOCOLS DE SEGURETAT DE LA MTS.

 Universitat Autònoma de Barcelona Escola Tècnica Superior d'Enginyeria	Laboratori de Tecnologia de Materials I Enginyeria de Materials
PROTOCOLS D'UTILITZACIÓ DE MÀQUINES D'ASSAIG AL LABORATORI	
MÀQUINA: MÀQUINA D'ASSAIGS MECÀNICS (MTS)	

	DESCRIPCIÓ
	<ul style="list-style-type: none"> • Serveix per a realitzar assaigs mecànics (estàtics o dinàmics) amb provetes de materials sobretot metàl·lics (encara que es poden fer amb d'altres). • Està ubicada en un lateral del laboratori (veure fitxa d'ubicació). Està localitzada amb els nombres 10 i 11. • Està composta per un ordinador de control+capçal de càrrega+control a distància+ grup hidràulic (situat a una altra habitació (a la fitxa d'ubicació té el num. 11). • Disposa de l'homologació CE

RISCOS A CONSIDERAR / EQUIPS PROTECCIÓ INDIVIDUAL	
	<ul style="list-style-type: none"> • El principal risc que ens trobem és el d'atrapaments amb les mordasses que aguanten la proveta. • Durant el procés de col·locació de la proveta és quan el risc és major, pel que s'haurà d'anar especialment amb compte • També haurem d'anar en compte amb el contacte amb la corrent elèctrica (que alimenta l'aparell). • S'usaran guants per a la manipulació de les provetes quan les posem a les mordasses. • Hi ha un risc d'atrapament, per això es recomana no portar roba ampla, corbates (portar una bata de treball), els cabells llargs han d'anar recollits.

MODE D'UTILITZACIÓ	
 imatge 1	<ul style="list-style-type: none"> • Està prohibit fumar, menjar o beure durant l'operació amb la màquina. • No podem manipular ni la proveta ni la màquina fins que no hagi acabat el cicle de càrrega. • La part més crítica és a l'hora de col·locar la proveta a les mordasses. Per a fer-ho: <ol style="list-style-type: none"> 1. Primer obrim les mordasses 2. Posem la proveta centrada en aquestes 3. Tanquem primer la mordassa inferior i posteriorment la superior, mantenint les mans allunyades • Un cop fet això, ja podem començar l'assaig.

PROTOCOLS D'UTILITZACIÓ DE MÀQUINES D'ASSAIG AL LABORATORI

MÀQUINA: MÀQUINA D'ASSAIGS MECÀNICS (MTS)



imatge 2



imatge 3

• ABANS DE LA SEVA UTILITZACIÓ

Hem de tenir una sèrie de conceptes clars abans de començar un assaig amb una premsa, aquests són:

1. Localitzar els pulsador de parada d'emergència (imatge 2)
2. Conèixer els controls (imatge 3)
3. Conèixer els punts de xafament i d'atrapament potencials
4. Conèixer els riscos elèctrics
5. Mantenir-se allunyats durant l'assaig
6. Vestir robes adequades (poc amples) i recollir-se els cabells.
7. Mantenir un bon ordre i neteja

• DURANT LA SEVA UTILITZACIÓ

Mentre estem usant l'aparell, hem de tenir en compte els punts següents:

1. Conèixer les proteccions necessàries
 2. Conèixer els límits de la premsa (no sobrecarregar-la)
 3. Mantenir-se alerta
 4. Situar-se lluny dels elements en moviment.
 5. Evitar els punts d'atrapament
- Al finalitzar els assaigs, hem de netejar tot el que s'ha embrutat i desar-ho tot al seu lloc.

Annex G.- APARELLS UTILITZATS.

-Bàscula electrònica:

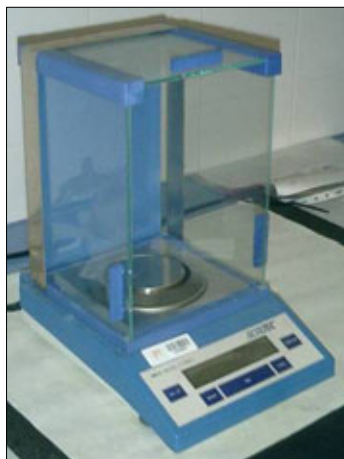
marca GRAM PRECISION; serie ST; model ST 360; Màx. 360g; precisió $d=1$ mg.

**-Agitadora:**

marca CISA; model RP.15.

**-Bàscula electrònica:**

marca SCALTEC; model SBA 3; Màx. 220 gr; precisió $d=0,0001$ gr.



-Talladora:

marca BUEHLER®; model ISOMET®; model LOW SPEED SAW.



-Embotidora:

marca BUEHLER® METASERV; model PNEUMET® II.



-Reïna per l'embotició:

CONDUCTIVE MOLDING COMPOUND; marca BUEHLER®.



-Polidora:

marca STRUERS®, model KNUTH-ROTOR 2.



-Paper de polir:

SiC Grinding Paper for metallography wet or dry; marca BUEHLER®.

Grit P800; Grit P1200; Grit P2500; Grit P4000.



-Polidora automàtica:

marca BUEHLER®.



-Pasta de diamant:

Diamond polishing compound; marca BUEHLER®; METADI II.

Color groc, partícules de 6 µm; color verd, partícules de 3 µm; color blau, partícules 1 µm.

**-Lubricant:**

marca BUEHLER®; Metadi Fluid; Dialub SW; No 15 50 01; contents 1L.

**-Ultrasons:**

marca P-SELECTA®.



-Microscopi òptic:

marca ZEISS.



-Barra de calibratge:

marca ZEISS; precisió 5 mm ^{100/100}.

-Difractòmetre de raigs X:

marca Philips X'Pert; model PW3050.



-Microscopi electrònic de rastreig (SEM):

marca JEOL; model JEM 840.



-Microindentador:

VICKERS HARDNESS TESTER; model FV-700.



Annex H.- TAULES DE VALORS DELS ASSAIGS.

-Dades adquirides durant la prova per saber la temperatura de treball amb el termòmetre electrònic i un cronòmetre.

Prova: 650°C de cop durant 20 minuts			
Temps (minuts)	T ^a del punxó superior (° C)	T ^a del punxó inferior (° C)	T ^a forn (° C)
0	22	22	0
0,5	22	22	100
1	22	22	200
1,5	22	22	300
2	22	22	400
2,5	23	25	500
3	24	27	550
3,5	25	30	600
4	27	33	608
4,5	29	37	616
5	31	41	624
5,5	33	45	632
6	36	50	640
6,5	39	55	648
7	42	60	650
7,5	45	65	650
8	48	70	650
8,5	51	75	650
9	55	81	650
9,5	58	86	650
10	62	91	650
10,5	65	96	650
11	69	102	650
11,5	72	107	650
12	75	112	650
12,5	78	116	650
13	82	121	650
13,5	85	126	650
14	88	131	650
14,5	92	135	650
15	95	140	650
15,5	98	144	650
16	101	149	650
16,5	104	153	650
17	107	157	650
17,5	110	162	650
18	113	166	650
18,5	116	170	650
19	119	174	650
19,5	122	177	650
20	124	181	650
20,5	126	184	635
21	129	188	619
21,5	131	191	604
22	133	194	588
22,5	136	196	573
23	137	198	557

23,5	139	200	542
24	140	202	527
24,5	142	203	511
25	143	204	496
25,5	144	205	481
26	145	205	465
26,5	146	206	450
27	146	206	434
27,5	147	206	419
28	147	205	403
28,5	147	205	387
29	147	204	372
29,5	147	204	356
30	147	203	341

-Dades adquirides durant els assaigs amb el termòmetre electrònic i un cronòmetre.

Assaig 2: Temperatura de treball 360°C durant 20 minuts; rampa del temps de la temperatura 10 minuts.				
Temps (minuts)	T ^a del punxó superior (° C)	T ^a del punxó inferior (° C)	T ^a forn (° C)	Força axial de compressió (KN)
0	27	27	27	-1
0,5	27	27	34	-1
1	27	27	41	-1
1,5	27	27	48	-1
2	27	27	56	-1
2,5	27	27	63	-1
3	27	27	70	-1
3,5	27	27	77	-1
4	27	27	85	-1
4,5	27	27	92	-1
5	27	27	99	-1
5,5	27	27	106	-1
6	27	27	114	-1
6,5	27	27	121	-1
7	27	27	128	-1
7,5	27	27	135	-1
8	27	27	138	-1
8,5	27	27	143	-1
9	27	28	150	-1
9,5	27	28	156	-1
10	27	28	164	-1
10,5	27	28	175	-1
11	28	28	183	-1
11,5	28	28	194	-1
12	28	29	200	-1
12,5	28	29	207	-1
13	28	29	214	-1
13,5	28	29	225	-1
14	28	29	231	-1

14,5	28	29	240	-1
15	28	30	250	-1
15,5	28	30	257	-1
16	28	30	264	-1
16,5	28	30	275	-1
17	28	31	283	-1
17,5	28	31	291	-1
18	28	31	300	-1
18,5	29	32	315	-1
19	29	32	330	-1
19,5	29	32	345	-1
20	29	33	360	-20
20,5	29	33	360	-20
21	29	34	360	-20
21,5	29	34	360	-20
22	30	35	360	-20
22,5	30	35	360	-20
23	30	36	360	-20
23,5	30	36	360	-20
24	30	37	360	-20
24,5	30	37	360	-20
25	30	38	360	-20
25,5	30	38	360	-20
26	30	39	360	-20
26,5	31	39	360	-20
27	31	40	360	-20
27,5	31	41	360	-20
28	31	41	360	-20
28,5	31	42	360	-20
29	31	42	360	-20
29,5	31	42	360	-20
30	31	42	360	-20
30,5	31	43	359	-0,5
31	32	43	359	-0,5
31,5	32	44	358	-0,5
32	32	44	358	-0,5
32,5	32	44	357	-0,5
33	32	44	357	-0,5
33,5	33	44	356	-0,5
34	33	45	356	-0,5
34,5	33	45	355	-0,5
35	33	45	355	-0,5
35,5	33	45	354	-0,5
36	33	46	354	-0,5
36,5	33	46	353	-0,5
37	33	47	353	-0,5
37,5	33	47	352	-0,5
38	33	47	352	-0,5
38,5	33	47	351	-0,5
39	33	47	351	-0,5
39,5	33	47	350	-0,5
40	33	47	350	-0,5

Assaig 3: Temperatura de treball 370°C durant 20 minuts; rampa del temps de la temperatura 10 minuts.

Temps (minuts)	T ^a del punxó superior (° C)	T ^a del punxó inferior (° C)	T ^a forn (° C)	Força axial de compressió (KN)
0	27	27	27	-1
0,5	27	27	37	-1
1	27	27	47	-1
1,5	27	27	57	-1
2	27	27	67	-1
2,5	27	27	77	-1
3	27	27	87	-1
3,5	27	28	97	-1
4	27	28	107	-1
4,5	27	28	117	-1
5	27	28	127	-1
5,5	27	28	137	-1
6	27	28	150	-1
6,5	27	28	157	-1
7	27	29	164	-1
7,5	27	29	171	-1
8	27	29	177	-1
8,5	27	30	184	-1
9	27	30	192	-1
9,5	27	30	200	-1
10	27	30	207	-1
10,5	27	31	214	-1
11	27	31	222	-1
11,5	28	31	229	-1
12	28	31	236	-1
12,5	28	32	245	-1
13	28	32	250	-1
13,5	28	32	257	-1
14	28	33	264	-1
14,5	28	33	271	-1
15	28	34	278	-1
15,5	28	34	295	-1
16	28	35	300	-1
16,5	28	35	306	-1
17	28	36	312	-1
17,5	28	36	320	-1
18	29	37	326	-1
18,5	29	37	332	-1
19	29	38	338	-1
19,5	29	38	344	-1
20	29	39	350	-1
20,5	29	39	352	-1
21	29	40	354	-1
21,5	29	40	356	-1
22	29	41	358	-1
22,5	29	41	360	-1
23	29	42	362	-1

23,5	29	42	365	-1
24	30	43	368	-1
24,5	30	43	370	-20
25	30	43	370	-20
25,5	30	43	370	-20
26	30	44	370	-20
26,5	30	44	370	-20
27	30	45	370	-20
27,5	30	45	370	-20
28	31	46	370	-20
28,5	31	46	370	-20
29	31	47	370	-20
29,5	31	47	370	-20
30	31	48	370	-20
30,5	31	48	370	-20
31	31	49	370	-20
31,5	31	49	370	-20
32	32	50	370	-20
32,5	32	50	370	-20
33	32	51	370	-20
33,5	32	51	370	-20
34	32	52	370	-20
34,5	32	52	370	-20
35	32	53	369	-0,5
35,5	32	53	369	-0,5
36	32	53	368	-0,5
36,5	32	54	368	-0,5
37	32	54	367	-0,5
37,5	32	54	367	-0,5
38	32	54	366	-0,5
38,5	32	54	366	-0,5
39	32	54	365	-0,5
39,5	32	54	365	-0,5
40	32	54	364	-0,5

Assaig 4: Temperatura de treball 520°C durant 20 minuts; rampa del temps de la temperatura 10 minuts.

Temps (minuts)	T ^a del punxó superior (° C)	T ^a del punxó inferior (° C)	T ^a forn (° C)	Força axial de compressió (KN)
0	25	25	25	-1
0,5	25	25	35	-1
1	25	25	45	-1
1,5	25	25	55	-1
2	25	25	64	-1
2,5	25	25	72	-1
3	25	25	83	-1
3,5	25	25	92	-1
4	25	25	100	-1
4,5	25	25	112	-1
5	25	25	125	-1
5,5	25	25	137	-1
6	25	26	150	-1

6,5	25	26	162	-1
7	25	26	175	-1
7,5	25	26	187	-1
8	25	26	200	-1
8,5	25	26	210	-1
9	25	26	220	-1
9,5	25	26	230	-1
10	25	27	240	-1
10,5	25	27	250	-1
11	26	27	262	-1
11,5	26	27	275	-1
12	26	27	287	-1
12,5	27	28	300	-1
13	27	29	313	-1
13,5	27	29	326	-1
14	27	30	339	-1
14,5	27	30	352	-1
15	27	31	365	-1
15,5	27	31	377	-1
16	27	32	389	-1
16,5	27	32	401	-1
17	27	33	414	-1
17,5	27	34	426	-1
18	27	35	438	-1
18,5	27	36	450	-1
19	28	37	462	-1
19,5	28	38	475	-1
20	28	39	487	-1
20,5	28	40	500	-1
21	28	41	505	-1
21,5	28	42	510	-1
22	29	43	515	-1
22,5	29	44	520	-20
23	30	45	520	-20
23,5	30	46	520	-20
24	30	47	520	-20
24,5	30	48	520	-20
25	31	49	520	-20
25,5	31	50	520	-20
26	31	51	520	-20
26,5	31	53	520	-20
27	32	54	520	-20
27,5	32	55	520	-20
28	32	56	520	-20
28,5	32	57	520	-20
29	33	59	520	-20
29,5	33	60	520	-20
30	33	61	520	-20
30,5	33	62	520	-20
31	33	63	520	-20
31,5	33	64	520	-20
32	34	66	520	-20
32,5	34	67	520	-20

33	34	68	519	-0,5
33,5	34	69	519	-0,5
34	34	69	518	-0,5
34,5	34	68	518	-0,5
35	34	69	517	-0,5
35,5	34	69	517	-0,5
36	34	70	516	-0,5
36,5	35	70	516	-0,5
37	35	71	515	-0,5
37,5	35	71	515	-0,5
38	35	72	514	-0,5
38,5	35	72	514	-0,5
39	35	72	513	-0,5
39,5	35	73	513	-0,5
40	36	73	512	-0,5

Assaig 6: Temperatura de treball 600°C durant 20 minuts; rampa del temps de la temperatura 10 minuts.

Temps (minuts)	T ^a del punxó superior (° C)	T ^a del punxó inferior (° C)	T ^a forn (° C)	Força axial de compressió (KN)
0	24	25	25	-1
0,5	24	25	40	-1
1	24	25	55	-1
1,5	24	25	70	-1
2	24	25	85	-1
2,5	24	25	100	-1
3	24	25	125	-1
3,5	24	25	150	-1
4	24	25	175	-1
4,5	24	25	200	-1
5	25	26	218	-1
5,5	25	26	236	-1
6	25	26	250	-1
6,5	25	26	268	-1
7	25	26	285	-1
7,5	25	26	300	-1
8	25	27	318	-1
8,5	25	27	336	-1
9	25	28	350	-1
9,5	25	28	368	-1
10	25	28	385	-1
10,5	26	29	400	-1
11	26	29	418	-1
11,5	26	30	436	-1
12	26	31	450	-1
12,5	26	31	468	-1
13	26	32	485	-1
13,5	26	32	500	-1
14	27	33	512	-1
14,5	27	34	525	-1
15	27	34	537	-1
15,5	27	35	550	-1

16	27	36	555	-1
16,5	27	37	560	-1
17	28	38	565	-1
17,5	28	39	570	-1
18	28	40	575	-1
18,5	28	41	580	-1
19	30	42	585	-1
19,5	32	43	590	-1
20	32	44	595	-1
20,5	32	45	600	-20
21	32	47	600	-20
21,5	33	48	600	-20
22	33	49	600	-20
22,5	34	50	600	-20
23	34	51	600	-20
23,5	34	52	600	-20
24	35	54	600	-20
24,5	35	55	600	-20
25	35	56	600	-20
25,5	35	57	600	-20
26	35	58	600	-20
26,5	36	59	600	-20
27	36	61	600	-20
27,5	37	62	600	-20
28	37	63	600	-20
28,5	37	64	600	-20
29	38	65	600	-20
29,5	37	66	600	-20
30	37	67	600	-20
30,5	38	66	600	-20
31	39	66	599	-0,5
31,5	39	66	599	-0,5
32	39	66	598	-0,5
32,5	39	67	598	-0,5
33	40	67	597	-0,5
33,5	39	68	597	-0,5
34	39	68	596	-0,5
34,5	40	68	596	-0,5
35	40	69	595	-0,5
35,5	40	69	595	-0,5
36	40	70	594	-0,5
36,5	39	70	594	-0,5
37	39	70	593	-0,5
37,5	39	70	593	-0,5
38	40	70	592	-0,5
38,5	40	71	592	-0,5
39	40	71	591	-0,5
39,5	40	71	591	-0,5
40	40	72	590	-0,5